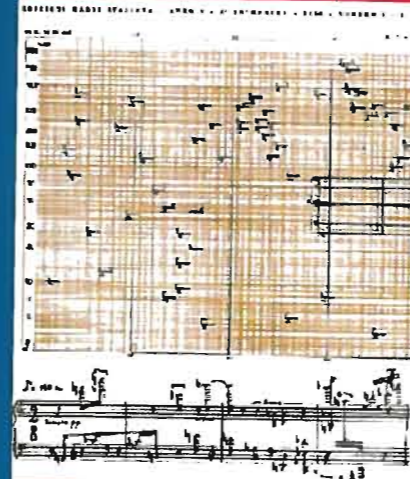
Sped. in A.P. - 45% art.2 comma 20/b legge 662/96 - Filiale di Firenze

ANNO XLVII
NUMERO 2/3
DICEMBRE 1998
£ 20.000

telecomunicazioni

RAI·ERI

NUMERO SPECIALE

LA MUSICA E L'ELETTRONICA

telecomunicazioni

Anno XLVII
N°2/3 Dicembre 1998
da pag. 55 a pag. 134

RIVISTA QUADRIMESTRALE A CURA DELLA RAI

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Comitato direttivo
Maurizio Ardito, Renato Capra, Mario Cominetti, Paolo D'Amato

Redazione
Renato Capra, Gemma Bonino

Centro Ricerche Rai
Corso Giambone, 68 - 10135 Torino, Tel.(011)8800 (int.3132)

Gestione prodotto
Rai Editoria Periodica e Libraria
V.ale Mazzini, 14 - 00195 Roma

Distribuzione in edicola
SODIP "Angelo Patuzzi" S.p.A.
via Bettola 18 - 20092
Cinisello Balsamo, Milano
Tel. (02) 660301
Fax (02) 66030320

Gestione abbonamenti e numeri arretrati
Licosa Via Duca di Calabria, 1/1
50125 Firenze
Tel. 055/645415
Fax 055/641257

Una copia	£ 10.000
estero	£ 17.000
Copia arretrata	£ 20.000
estero	£ 27.000
Abb. annuale	£ 30.000
estero	£ 50.000

Versamenti Licosa - Firenze
ccp.343509

Spedizione in abb. postale 45%

Reg. alla cancelleria del tribunale c.p. di Torino al n.494 in data 6-11-1951

Progetto grafico
Franco De Vecchis

Stampa:
Stamperia Artistica Nazionale (Torino)

Indice

Editoriale

L'uso degli strumenti elettronici nelle attività artistiche è il tema centrale di questo numero speciale di **Elettronica e Telecomunicazioni**. Con particolare riguardo all'applicazione del computer nel campo musicale.

Senza considerare le implicazioni di ordine estetico, è interessante soffermarsi sui cambiamenti che le nuove tecnologie impongono nella percezione e nella valutazione della musica, mettendo spesso in discussione metodi di pensiero e giudizi considerati quasi dogmatici.

Con la riproposizione del numero del 1956 della rivista, che allora si chiamava "Elettronica", abbiamo voluto rievocare la nascita dello Studio di fonologia musicale della RAI a Milano, ad opera di Luciano Berio e Bruno Maderna, studio che rappresentò un centro all'avanguardia nella sperimentazione musicale.

E lo sperimentalismo musicale è anche l'argomento di cui si occupa Luciana Galliano, musicologa e docente universitaria, nell'articolo che pubblichiamo in questo numero, nel quale la studiosa ne illustra i percorsi, descrivendo inoltre quella sorta di poetica che avvolge il fenomeno della musica prodotta dal computer. E infatti, se è vero che lo strumento digitale è più potente e contemporaneamente più maneggevole, è tuttavia ugualmente vero che non possiede la capacità espressiva di un'orchestra; inoltre, per quanto sofisticato, non può memorizzare le infinite variazioni create da un concertista. Dunque, pur rappresentando un grandissimo aiuto per il compositore, grazie alla relativa facilità del suo uso e alla stupefacente spettacolarità dei risultati che produce, il mezzo elettronico non deve essere sopravvalutato, poiché non è in grado di risolvere il problema dell'ispirazione, della tecnica compositiva e dell'interpretazione.

Gli ultimi due articoli che proponiamo si inquadrano nel grande sforzo che la Rai sta compiendo per conservare il suo immenso patrimonio sonoro. Come nella radiofonia, anche in questo campo le nuove tecniche digitali costituiscono un ausilio insostituibile per ridefinire i contorni di una concezione nuova del lavoro e di un nuovo modo di affrontarlo.

Lo Studio di Fonologia Musicale di Radio Milano

Gino Castelnuovo

La moderna tecnica della registrazione sonora e i recenti ritrovati dell'elettro-acustica hanno consentito il nascere di un interessante movimento di ricerche sulla struttura musicale e sui suoi riflessi psicofisiologici nonché sulla possibilità di nuove forme sonore e di nuove sensazioni acustiche.

Questo movimento, che si basa da una parte sugli ambienti musicali meno convenzionali e dall'altra su alcuni settori tecnici specializzati, ha avuto inizio dopo l'ultima guerra quasi contemporaneamente presso varie nazioni, con l'appoggio in generale delle locali Società radiofoniche.

In Francia è stato l'ingegnere Pierre Schaeffer della R.T.F., appassionato cultore di musica, oltre che valente tecnico radiofonico, che ha fondato nel 1948 uno speciale Centro per ricerche di «Musica Concreta»: espressione questa che sta a significare l'uso come materiale primario di suoni compositi e di rumori di varia origine che, opportunamente filtrati, modificati, traslati, ecc. consentono di creare espressioni sonore di un'estetica particolare.

In Germania, seguendo criteri meno empirici e a maggior base scientifica, è stato istituito nel 1951 a Colonia, sotto gli auspici della NWDR, un Centro di ricerche di «Musica Elettronica». I suoni vengono creati partendo dai loro singoli elementi costitutivi: in un certo senso si segue la tecnica opposta a quella che costituisce il fondamento della musica concreta. Anche qui il settore tecnico, sotto la guida del Professore Meyer Eppler, docente di fonetica presso l'Università di Bonn, collabora attivamente con vari musicologi e compositori al funzionamento e al potenziamento del Centro.

Nel 1952, negli Stati Uniti d'America, sotto gli auspici della Columbia University, venne iniziata una particolare attività di cosiddetta «Music for Tape Recorder», che sostanzialmente utilizza e la tecnica e i concetti dei citati studi di Parigi e di Colonia.

Recentemente poi i Laboratori dell'R.C.A. hanno costruito una vera e propria macchina per la produzione elettronica dei suoni, detta «Electronic Music Synthesizer». Le possibilità pratiche offerte da tale macchina si intravedono vastissime, ma ancora non si conosce molto circa le effettive realizzazioni già attuate.

Attività congeneri si svolgono un po' dappertutto presso altre nazioni. Si può ricordare lo Studio di Gravesano in Svizzera, creato dal Maestro Scherchen con la collaborazione di vari altri studiosi, sotto gli auspici dell'UNESCO, e inoltre i Laboratori creati presso le rispettive Società radiofoniche in Olanda, Danimarca, Inghilterra, Canada, Giappone, ecc.; numerosi Congressi internazionali vengono tenuti periodicamente per discutere questioni del genere.

La RAI non poteva tenersi in disparte da queste ricerche, tanto più che essa, con la creazione del «Premio Italia», ha dato incremento agli studi per un'arte radiofonica che molto spesso, nelle sue pratiche applicazioni, risulta basata su produzioni di musica concreta o di musica elettronica.

Vista generale delle apparecchiature dello Studio di Fonologia Musicale di Milano.

Lo Studio di Fonologia Musicale di Milano si propone perciò di procedere su queste nuove vie sfruttando l'esperienza già fatta all'estero e cercando di arrivare anche a risultati originali in settori affini.

È da prevedere infatti che per mezzo di una accurata analisi fonologica delle espressioni vocali e musicali dei vari popoli si possano trarre interessanti conclusioni circa i contatti che in periodi più o meno antichi si sono stabiliti tra paesi e continenti diversi.

Altre ricerche, da effettuarsi con il concorso di fisiologi, possono indirizzarsi verso lo studio degli effetti di mascheramento di un suono da parte di un altro, delle manifestazioni di memoria circa determinate forme temporali o ritmiche di un dato tema, della creazione mentale di suoni virtuali a seguito dell'emissione di certe armoniche, ecc. Tutte queste attività a sfondo musicale, etnologico, fisiologico, ecc. hanno in comune i mezzi materiali con cui possono essere esplicate: mezzi che volta a volta devono essere adattati e completati per le singole esigenze a cura del competente settore tecnico.

Lo Studio di Fonologia Musicale di Milano si trova ancora in fase di attrezzatura, data la sua recente data di nascita. Tuttavia esso è già fornito di tutti i più importanti apparati che consentono di attuare più o meno rapidamente le operazioni richieste per le lavorazioni sopra indicate.

Nel presente numero di «Elettronica» viene presentato innanzitutto un articolo del Maestro Luciano Berio, che ha dedicato sin dall'inizio tutta la sua entusiasta attività di studioso e di musicista al nuovo Studio di Radio Milano, sulle prospettive che, con la nuova tecnica, si aprono alle ricerche e alle creazioni musicali: tale articolo, cosa inconsueta negli annali della nostra Rivista, è accompagnato da un disco a 33 giri, contenente su una facciata gli esempi musicali citati nel corso dell'articolo, e sull'altra due brevi produzioni di musica elettronica, dovute, rispettivamente, allo stesso Maestro Luciano Berio e al Maestro Bruno Maderna.

A questo articolo, a carattere fondamentalmente musicale, ne segue uno del Dottor Alfredo Lietti, sugli impianti tecnici dello Studio di Fonologia Musicale. Il Dottor Lietti ha validamente collaborato col Maestro Berio per la realizzazione del nuovo Studio, ed ha progettato molte delle attrezzature ivi contenute.

A maggiore illustrazione dell'argomento è infine riportata la traduzione di un importante articolo per la conoscenza dei fondamenti fisico matematici della musica elettronica, dovuto alla penna del Professor Werner Meyer-Eppler. Questo lavoro è già comparso sul numero 1/2 del 1954 della «Technische Hausmitteilungen der Nordwestdeutscher Rundfunk», interamente dedicato alla musica elettronica, e cortesemente ne è stata consentita la riproduzione.

All'Autore e agli Editori vada il nostro ringraziamento.

Da "Elettronica" del 1956

Prospettive nella musica

Ricerche ed attività dello Studio di Fonologia Musicale di Radio Milano

Maestro **Luciano Berio**

della Rai

Lo Studio di Fonologia Musicale della Radiotelevisione Italiana, come altri Studi del genere esistenti in Europa ed in America, è il risultato di un incontro fra la musica e le possibilità dei nuovi mezzi di analisi e di trattamento del suono.

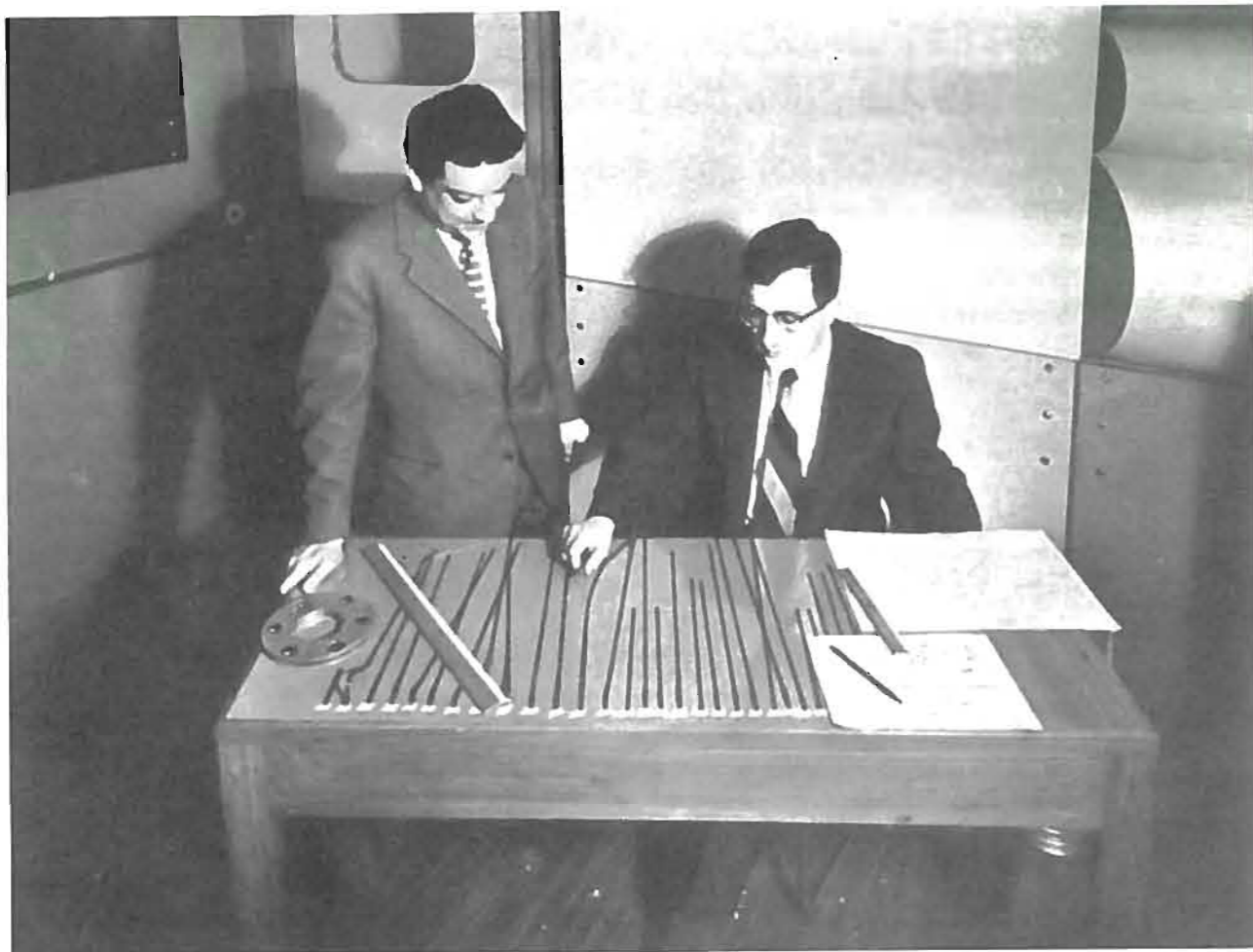
«Musica concreta», «Musica elettronica» e «Music for tape recorder» sono i termini che da qualche anno vengono usati per definire con una certa approssimazione l'atteggiamento che il musicista assume nell'incontro con tali possibilità.

Il compositore di «musica concreta» o di «music for tape recorder» concede ragioni psicologiche e rappresentative alle sue «improvvisazioni» coi suoni della vita reale (strumenti musicali compresi), registrati su nastro magnetico e quindi manipolati a mezzo di montaggio ed alterazioni di banda. Il compositore di musica elettronica, invece, vuole e crea i «suoi» suoni: non usa microfoni, ma generatori di suono o di rumore, filtri, modulatori e apparecchiature di controllo che gli permettono di investigare un segnale acustico nella sua struttura fisica.

Oggi però è lecito pensare che definizioni quali «musica concreta» e «musica elettronica», sorte in parte per il semplice e legittimo desiderio di riconoscere gli oggetti del nostro parlare quotidiano, possono venire assimilate al concetto generale di musica, cioè, che sembra realizzarsi compiutamente sempre e solo attraverso una interiore ed infaticabile condizione artigiana. Per tali ragioni lo Studio di Fonologia Musicale, istituito nel giugno del 1955 dalla Radiotelevisione Italiana, è in grado oggi di proporre una sintesi fra le differenti e spesso contrastanti esperienze gia consumate negli Studi di Colonia (NWDR), Parigi (RTF), New York (Columbia University) ecc., fra le esigenze pratiche della produzione radiotelevisiva e cinematografica e le necessità espressive del musicista che voglia allargare il campo dell'esperienza musicale anche attraverso le possibilità dei nuovi mezzi sonori. Infatti lo Studio di Fonologia Musicale, accanto a speciali compiti musicali riguardanti il normale esercizio radiotelevisivo, si è assunto l'impegno di una produzione musicale autonoma e di ricerca fonologica, sempre nell'ambito delle esperienze musicali.

È curioso notare come in questi ultimi trent'anni le idee su un'arte e su un'estetica radiofonica non abbiano ancora potuto fissarsi in termini precisi e come l'esperienza passata non abbia fruttato che rare e generiche conclusioni che potessero costituire la base di una eventuale grammatica radiofonica. E avremmo perciò tutte le ragioni di affermare l'inesistenza di un'arte radiofonica se, in fine, non ci si rendesse conto che il rapido progresso dei mezzi di registrazione e di riproduzione del suono non ha dato tregua al regista, allo scrittore, al musicista, all'interprete, ecc. Questi ultimi si sono sempre dovuti porre in maniera nuova il problema dell'espressione e della comunicazione radiofonica e, per quanto rapidamente si adeguassero, erano sempre in ritardo sulla evoluzione dei mezzi (Oggi, pur che canti bene, una voce è sempre radiofonica, è altrettanto una musica, pur

Nell'attuale riproposizione di questo articolo non è allegato il disco a 33 giri con gli esempi musicali citati e due brevi composizioni di musica elettronica di Luciano Berio e Bruno Maderna

Da "Elettronica" del 1956

Montaggio di nastri registrati (a destra il M°Berio, a sinistra il m°Maderna).

che sia scritta bene). I microfoni più sensibili e di qualità migliore, gli auditori costruiti meglio, la registrazione e l'ascolto più fedele, le possibilità di manipolare il suono con filtri, con echi, con variazioni di velocità e le possibilità di creare nuove strutture sonore rappresentano appunto quei mezzi che, in fase continua di evoluzione, agiscono violentemente sull'unica, sensibile «presenza» offertaci dalla radio: il suono.
Lo Studio di Fonologia Musicale, mettendo l'insieme di tali mezzi a disposizione di speciali produzioni che tentino una ricerca espressiva, può contribuire ad un incontro durevole tra gli strumenti e le possibili intuizioni di un attuale linguaggio radiofonico. Ed è su questi stessi mezzi che si basa un'attività di ricerca tutt'ora in preparazione, riguardante la memoria e la qualità di uno stimolo sonoro (in rapporto cioè ai parametri matematici di altezza intensità e durata), la memoria ed una serie organizzata di stimoli donoti (in rapporto cioè ai parametri di «sensibilità») e i rapporti tra audizione e fonazione, con speciale interesse alla voce cantata.
Ciò si collega in parte con altri soggetti di ricerca riguardanti la musica popolare lo studio della quale, in questi ultimi tempi, ha subìto un radicale rinnovamento sia nei concetti che nei metodi. Grazie ai nuovi mezzi di registrazione del suono è oggi possibile condurre ricerche su basi essenzialmente comparative che permettono di constatare come alla base di ogni espressione musicale vi siano anche fatti di natura costituzionale, psico-fisiologica, geografica, ecc. Sotto il peso di forti novità una comunità etnica può modificare o del tutto alterare il suo modo di pensare, di agire e di parlare; cadono le consuetudini sociali ed evolvono addirittura le leggi morali, ma una vestigia dello stile musicale quasi sempre resiste, magari in atteggiamenti non facilmente avvertibili. Lo stile musicale diventa quindi il mezzo più diretto e sicuro per penetrare nella logica interiore dell'espressività spontanea.
Per stile, naturalmente, non si intendono le sole strutture propriamente musicali, bensì quei fatti che riguardano da vicino l'attività musicale: cioè, legame tra parola parlata e parola cantata, legame tra le lingue, i dialetti e le articolazioni strumentali, i movimenti del corpo e dei muscoli facciali durante l'esecuzione, l'occasione e la modalità del canto, la reazione collettiva al canto stesso, la generale opinione sulla musica e suoi suoi significati.
Su questa base è possibile analizzare, con il vastissimo materiale ormai disponibile, l'essenza musicale dei vari stili popolari, studiarli criticamente ed anche aiutarne lo sviluppo quando, come nel caaso della odierna musica popolare in Italia, si manifesti uno squilibrio tra le necessità di un linguaggio musicale più o meno evoluto, più o meno contaminato, e la caratteristica vocalità della nostra lingua parlata e cantata. Il lavoro può essere condotto cunmporaneamente su diverse linee: analisi etnologica in generale, analisi musicale, analisi fisica, analisi fisiologica. E ciò, infine, si collega allo studio di quegli aspetti di continuità che ritroviamo intatti anche nelle più alte espressioni della nostra civiltà musicale.
Ai due principali generi musicali consegnatici dalla tradizione (quello vocale e strumentale) oggi se ne aggiunge un altro: quello della musica realizzata direttamente su nastro magnetico, senza la mediazione dell'interprete.
Ciò non costituisce un avvenimento casuale, nè una «trovata straordinaria» e neppure è una conseguenza del fatto che il musicista d'oggi s'è trovato a poter disporre di nuovi mezzi di registrazione del suono, di analizzatori d'onda, di filtri, di generatori di frequenza ecc. Molti anni sono occorsi prima che il musicista arrivasse ad utilizzare tali mezzi per costruire musica: ragioni che vanno oltre l'occasione tecnica di un moderno strumento elettroacustico o elettronico, hanno fatto sì che la disponibilità di tali mezzi abbia coinciso con alcune necessità del linguaggio musicale. Infatti il musicista sa che la «musica elettronica» non va identificata con i suoi mezzi ma, piuttosto, con le idee di organizzazione musicale a cui s'è oggi pervenuti e che tale esperienza è chiaramente definibile in rapporto alla storia della nostra civiltà musicale.
La musica strumentale, con i suoi obblighi di informazione semantica, oltre che estetica, solo in parte obbediva a tali suggerimenti: i «simboli» della musica elettronica sono i suoni stessi nella loro obiettiva realtà, fisica.
Soltanto il rapporto fra la conoscenza dei fatti sonori e l'intuizione di un ordine connaturato a tali fatti e all'uomo, costituisce musica..., «essendo la Musica scienza di relatione et avendo per soggetto il numero sonoro, non senza proposito viene ad essere parte matematica et parte naturale» (Zarlino).
Nelle Università, negli Istituti Scientifici e nelle Società Radiofoniche il musicista sta perfezionando e continuando quella stessa musica appresa, nelle aule del Conservatorio e attraverso le esperienze professionali; ciò, ben lungi dal concedere l'uso di un nuovo strumento, ancora adattabile alle possibilità motorie dei muscoli e dei tendini dell'uomo, suggerisce invece nuovi rap-

Da "Elettronica" del 1956

porti tra le necessità espressive della musica e la conoscenza.
Quella conoscenza che ha indicato al musicista, come, quando e perché i dati della sensazione non corrispondano sempre ai dati dell'analisi e che permette oggi di sostituire all'idea di «strumento» una idea di illimitate possibilità sonore che tutto comprendono e riconsiderano attraverso un rinnovato concetto di ordine musicale.
Tuttavia la musica è pur sempre un'attività dell'uomo: non esiste in natura. Non è quindi possibile concepire un discorso musicale senza fare riferimento a quei mezzi che l'uomo ha inventato o adattato a scopo di musica. Il riferimento può essere più o meno facile, più o meno esplicito, ma è inevitabile....
Tale situazione di interdipendenza tra gli aspetti a meramente acustici ed empirici e gli aspetti «ragionati» di un discorso musicale, in breve, tra materia e forma, sta alla base di ogni evoluzione del linguaggio in musica. Basti pensare alle più o meno primitive manifestazioni di musica spontanea, ove la parola influenza direttamente il fatto sonoro (Esempio I, voce di negro e tamburo africano).
Né più né meno, ma su tutt'altro piano, di quanto accadde nel XVI secolo col diffondersi delle «prattiche» strumentali e, cambiando i termini del rapporto, di quanto accadde con la definizione dei rapporti armonici tonali che, definitivamente chiariti da Rameau, portarono all'apogeo e quindi alla cristallizzazione della forma classica. Cioè, all'evolversi della materia sonora – sia questo il primitivo ed istintivo suggerimento di una rudimentale articolazione verbale o un raffinato complesso di abitudini e di possibilità sonore assunte a sistema – corrisponde un evolversi dell'organizzazione di tale materia, corrisponde cioè una modificazione dei nessi sonori, della struttura formale ([1]). Le numerose metafore che siamo soliti usare per definire una situazione storica e morfologica della musica – musica classica, romantica, tonale, atonale, dodecafonica, ecc. – corrispondono, almeno in parte, a convenzionali esigenze di inventario: ma tuttavia, ognuna di queste metafore possiamo farla coincidere con un diverso stato di ordine e di rinnovamento del suono: dall'Organum al Motetto, dalla Suite alla Sinfonia, dalla libera forma dodecafonica alle strutture ed alle microstrutture della musica elettronica è una scelta continua di ordini diversi, al cospetto di nuove possibilità sonore. Ordini che, di volta in volta, diventano analisi logica, sintassi, poetica ed estetica del linguaggio musicale.
La ricerca e la produzione di musiche, nello Studio di Fonologia Musicale, tiene naturalmente conto delle esperienze di «musica concreta», di «musica elettronica» e di «music for tape recorder» effettuate da alcuni anni a questa parte in Europa ed in America. Avviciniamoci dunque direttamente a queste nuove definizioni di musica.
La «Musica concreta» viene così chiamata perché fa uso di materiale sonoro «concreto», cioè già esistente (come può essere il rumore di un treno, un grido di voce umana o il suono di uno strumento), ripreso dal microfono ed elaborato attraverso le possibilità del montaggio su nastro magnetico. Da un semplice suono di campana, per esempio, si può trarre un suono separato dal suo iniziale momento di percussione, che reso artificialmente omogeneo attraverso un adeguato uso del potenziometro ed attraverso collages può essere variamente modulato (Esempio II, a) campana; b) Bach: canone IV a 2 dall'«Offerta musicale»).
Con gli stessi procedimenti, naturalmente, si può elaborare qualsiasi avvenimento sonoro (Esempio III, goccia d'acqua). Come è evidente, i vari gradi di trasformazione dell'oggetto sonoro della musica concreta, sia questo suono o rumore, sono raggiunti semplicemente attraverso le possibilità di variazione di velocità, di montaggio e di alterazione di banda. La trasformazione dell'oggetto sonoro deve tener conto degli attributi para-musicali contenuti nell'oggetto stesso, che può essere indifferentemente uno spettro armonico o uno spettro continuo. La forma dell'oggetto sonoro è ciò che, prima di ogni altra cosa, interessa le orecchie del musicista: egli sa che una grandezza non periodica può diventare una grandezza quasi periodica (Esempio IV, rumore di ferraglie) attraverso una semplice operazione di montaggio. L'elemento sonoro risultante sarà dotato di ritmo, perciò sarà passibile di considerazioni musicali, sia pur primitive. Quello che però potremmo notare ancora in esso sarà un legame col suo stato originale (resta cioè sempre un rumore di ferraglie che cadono).
È evidente in ciò il riferimento ad una condizione psicologica: ai gradi di trasformazione strutturali dell'oggetto sonoro corrisponde quindi un diverso grado di «pregnanza» in rapporto allo stato bruto originario dell'oggetto stesso.
Data la possibilità di trasposizione di qualsiasi elemento sonoro, tale intervento psicologico avviene nei confronti di ogni pretesto sonoro, sia questo un rumore, una voce o il suono di uno strumento (*Esempio V*, «Piano-tape music»).
Questo carattere «aprioristico» dei suoni della musica concreta non è ritrovabile nell'esperienza della musica elettronica che si giova invece di materiale sonoro interamente preparato e previsto dal compositore stesso, oppure di materiale sonoro la cui struttura fisica sia perfettamente nota. Quasi sempre si tratta di suoni prodotti con generatori di frequenze, che, registrati

Onde Martenot (strumento musicale elettronico)

su nastro, verranno sovrapposti in complessi sonori il risultato dei quali, a seconda delle esigenze, potrà essere un accordo di frequenze o un timbro. Con l'aiuto di un'adeguata attrezzatura tecnica gli elementi sonori vengono ulteriormente elaborati ed organizzati in strutture musicali. Con ciò fa il suo ingresso anche nella pratica musicale il concetto che ogni suono ò un insieme di suoni parziali: che ogni fenomeno acustico è riducibile ad un certo numero di vibrazioni semplici. Nella musica elettronica, il musicista ha quindi la possibilità di organizzare le singole componenti del suono e giovarsi di princìpi generali ed unitari di organizzazione che interessano appunto la struttura del suono. Da ciò nuove possibilità, anzi nuove necessità di organizzazione formale.

Oggi, a ragion veduta, possiamo affermare che l'esperienza della musica elettronica continua e sviluppa logicamente l'esperienza della musica tradizionale, quella, per intenderci, concepita e scritta per i normali strumenti della nostra civiltà musicale.

All'inizio del secolo, il superamento dell'armonia tonale e, precedentemente, l'introduzione nelle ricerche acustiche, da parte di Helmholtz, di un dato fisiologico, permisero una più stretta presa di contatto tra le infinite probabilità musicali dello spazio sonoro e la realtà fisica e fisiologica della comunicazione musicale. È allora che, a grado a grado, alla ricchezza di rapporti strutturali armonici, di cui la musica tonale si era giovata sino all'esaurimento, viene sostituita una cosciente valutazione espressiva dei quattro parametri del suono: altezza, durata, intensità e timbro (Trovandoci ancora nel campo della musica strumentale, definisco parametro del suono anche il timbro, per quanto esso evidentemente sia un parametro «complesso»). Tale passaggio di poteri è avvenuto in maniera lenta e graduale: possiamo scorgerne i primi indizi in Beethoven, dove l'idea tematica viene assunta a complesso di dati statistici e dove i rapporti armonici (che già cominciano ad incaricarsi di funzioni, per così dire, rappresentative: poco dopo infatti sarà dato il via alla musica a programma) verranno impiegate con l'intuizione di un dato psicofisiologico.

Cent'anni dopo, completamente superate le ragioni tonali e tematiche della musica, gli elementi sonori costituenti una struttura formale sono già analizzabili con criteri strettamente statistici e seriali. Quei criteri cioè che, ulteriormente sviluppati, condurranno ad una nuova organizzazione della musica ove l'altezza del suono acquista ragioni strutturali anche in funzione della sua durata, della sua intensità e del suo timbro. E ciò per sommi capi vorrà già dire, da parte del musicista, una presa di contatto diretta con gli aspetti fisici e fisiologici della comunicazione sonora, che costituiscono la base tecnica dell'esperienza elettronica.

L'altezza del suono è stata sino ad ora il massimo oggetto di studio nell'acustica tradizionale e l'elemento base nell'evoluzione dei sistemi musicali. Per secoli l'uomo ha cantato sulle proporzioni di intervalli proposte dalla scuola pitagorica se non addirittura su un concetto di spazialità sonora opposta al nostro, come ha cantato sui primi moduli di scala tonale proposti da Zarlino. E così via, questa è storia nota. Il musicista, il teorico, il fisico e l'artigiano di strumenti musicali hanno di volta in volta contribuito ad una diversa suddivisione dello spazio sonoro.

Nella musica elettronica, l'altezza del suono è inquadrata in uno schema generale di possibilità sonora che tiene conto delle soglie di udibilità. Entro tali limiti le prestazioni dell'orecchio si effettuano secondo leggi statistiche trovate dapplima da Fletcher e successivamente elaborate da altri, tra cui Meyer-Eppler dell'Università di Bonn. Queste ultime riguardano soprattutto la metamorfosi degli elementi acustici in rapporto a certi aspetti di discriminazione auditiva. Tali leggi possono dare al musicista d'oggi una conferma naturale, seppure non indispensabile, delle possibilità espressive, o comunque dialettiche, che possono essere affidate ai singoli parametri del suono, la risultante dei quali propone una funzione diversa da quella esercitata dai singoli elementi.

In termini di musica elettronica ciò può essere esemplificato anche facendo ricorso al rapporto intensità-durata.

L'intensità di un suono non è un concetto indipendente per il semplice fatto che nessun fenomeno è percepibile se non dotato di una certa quantità di energia sonora. La sensazione della durata e della intensità sono strettamente legate; infatti il nostro orecchio, a parità di durata, sentirà i suoni forti più lunghi e i suoni deboli più corti [2]. Se infatti prendiamo un timbro prodotto a mezzo di oscillatori e lo ripetiamo in modo prettamente isocrono, variando l'intensità di 15 dB per gruppi successivi, nulla di sensibile accade (*Esempio VI*, sequenza simmetrica di impulsi) se la variazione avviene invece in maniera asimmetrica non avremo più l'impressione di una ripetizione isocrona di impulsi sonori, ma di una successione di durate asimmetriche (*Esempio VII*, sequenza asimmetrica di impulsi).

Anche l'uso strutturale della dinamica, il «piano e il forte» nelle musiche strumentali e gli accenti della musica jazz, sono una conseguenza di tale fatto.

Come è noto, il rapporto di intensità fra le frequenze costituenti un timbro e perfettamente controllate da parte del musicista che compone coi mezzi della musica elettronica.

Nella musica strumentale i rapporti di intensità esercitavano una funzione che potremmo genericamente definire amalgama o di differenziazione tra le varie voci del tessuto sonoro (Si pensi al popolarissimo «Bolero» di Ravel, ove le voci degli strumenti che articolano la nona ricomparsa del motivo sono disposte secondo la proporzione delle componenti armoniche naturali e secondo una accorta gradazione dinamica decrescente verso il registro acuto. Qui interviene anche un effetto di mascheramento che, come è stato ampiamente studiato ed illustrato nelle opere relative a tale argomento, varia a seconda della qualità del suono mascherato e da mascherare e a seconda del rapporto armonico e di intensità dei suoni stessi).

Oggi sappiamo che un timbro non è solo caratterizzato dalla sua costituzione «spettrale», ma dal rapporto spaziale e temporale delle componenti dello spettro. Ragion per cui, come abbiamo visto all'inizio (a proposito di musica concreta) se ad un suono di campana noi togliamo l'attacco, quello che ne risulta non sarà più un suono di campana. Fisicamente sarà un altro suono. La musica strumentale, in genere, ha tenuto conto di questo fatto. Tanto è vero che un rapido sguardo all'evoluzione della musica ci permette la non meno rapida constatazione che al costante ampliamento delle possibilità timbriche è sempre corrisposto un costante arricchirsi delle possibilità d'attacco del suono.

I vari colpi d'arco negli strumenti a corda, il tocco in alcuni strumenti a suono fisso [3] (il pianoforte per esempio), le varie tensioni di labbro e di lingua negli strumenti a fiato (oltre alle possibilità dinamiche sui vari registri) costituiscono uno degli aspetti più importanti che, ancora oggi, fanno dell'orchestra moderna uno strumento affascinante e ricco. Nella «musica elettronica» non vi sono limiti teorici alla produzione di timbri, sia armonici che disarmonici (*Esempio* VIII, strutture di timbri armonici e disarmonici).

Vi sono invece dei limiti, quando si voglia compensare la perdita di quelle caratteristi-

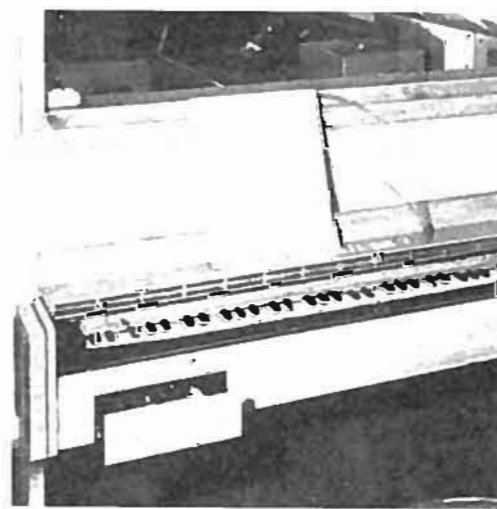
che generali che accompagnano la realizzazione di una musica affidata agli strumenti tradizionali. A tali caratteristiche di aleatorietà il gusto e la sensibilità dell'ascoltatore medio non può ancora rinunciare, nè forse deve rinunciare: il musicista consapevole che impiega i mezzi della musica elettronica è perfettamente conscio di questo e di altri problemi che lo pongono implacabilmente a confronto di un lungo, faticato e meraviglioso passato.

Nella «musica elettronica», il musicista, per preparare ed organizzare i suoni, si serve della registrazione su nastro magnetico: tale mezzo è sufficientemente flessibile per permettere al musicista una grande possibilità di scelta nel totale udibile. Questa è la ragione del continuo riferimento alle condizioni naturali della percezione. Nella pratica normale della musica strumentale è l'esecutore con il suo strumento che garantisce una sicura e collaudata accessibilità umana al fatto sonoro. Invece i mezzi della «musica elettronica», se non controllati, vanno assai oltre le possibilità auditive dell'uomo.

Infine, è assai importante considerare che anche una nuova prospettiva umana si apre al cospetto delle varie attività di ricerca e di produzione che sono lo scopo dello Studio di Fonologia Musicale. La prospettiva cioè del lavoro in gruppo, del lavoro collettivo, sia sul piano della creazione musicale, che, ovviamente, su quello della ricerca. Anche in considerazione di ciò è quindi con entusiasmo che alcuni studiosi e musicisti si assumono il compito di sperimentare e catalogare quell'enorme quantità di dati e di situazioni rese disponibili dalle migliorate possibilità di comunicazione musicale, in genere, dalle necessità espressive del musicista stesso, e, non ultima, dalla necessità di migliorare alcuni aspetti della materia prima dell'industria radiofonica.

Il compositore che adopera a scopo di musica i mezzi che la tecnica elettroacustica ed elettronica gli mettono a disposizione, sarà tanto più vicino al «vero» quanto più saprà rispondere, con assoluta modestia, alle obbiettive condizioni e necessità del mezzo usato e, quanto più saprà accettare la diretta collaborazione del tecnico, l'aiuto e la critica del collega. Anche su un piano più generale, l'incontro sereno e fecondo, oltre i confini delle specializzazioni artistiche e scientifiche, è una delle grandi strade aperte all'uomo moderno. «... tanto gli uomini dell'arte che quelli della scienza vivono sempre alla soglia del mistero, circondati da esso; gli uni e gli altri, nella misura della loro creazione, devono cercare di armonizzare ciò che è nuovo con ciò che è familiare, cercare di raggiungere l'equilibrio fra la novità e la sintesi, devono combattere per fare un ordine parziale in un caos totale. Essi nel loro lavoro e nella loro vita possono aiutare se stessi, aiutarsi fra loro o aiutare tutti gli uomini.

Possono fare, dei sentieri che collegano fra loro i villaggi delle arti e delle scienze e li collegano con il resto del mondo, i legami molteplici, vari, preziosi, di una vera comunità mondiale. Sarà durissimo per noi mantenere aperta la nostra mente e mantenerla profonda; mantenere vivo il nostro senso della bellezza e la nostra eventuale capacità di crearla, la nostra eventuale capacità di scoprirla, questa bellezza, in luoghi lontani, strani e sconosciuti; avremo la vita dura, tutti noi, per mantenere questi giardini dei nostri villaggi, per mantenere aperti i sentieri, molteplici, intricati, casuali, per mantenerli fioriti in un grande aperto mondo tempestoso, ma questa, secondo me, è la condizione umana; in questa condizione possiamo aiutarci perché possiamo amarci» (J. R. Oppenheimer, da «Prospettive nelle arti e nelle scienze» – discorso per la celebrazione del secondo centenario della Columbia University, 1954).

Che al banco di lavoro del liutaio si sia seduto anche l'ingegnere del suono, che oltre al pentagramma il musicista cominci ad usare anche la carta millimetrata e lo spettrogramma, che al suono dell'orchestra moderna faccia eco l'«electronic music synthesizer» costruito in America e le musiche degli Studi sperimentali d'Europa, non costituisce una sopraffazione: accerta invece, come cerchiamo di dimostrare col nostro lavoro, una emozionante presenza ed una continuità dell'uomo, constatabile tanto attraverso il capolavoro di ieri, destinato a questo o a quello strumento ora caduto in disuso o completamente trasformato, quanto attraverso il lavoro di oggi.

Appendice

A proposito di notazione nella musica elettronica

Comporre un'opera di musica elettronica vuol anche dire interpretarla, poiché la composizione di questa coincide con la definitiva realizzazione su nastro magnetico. Durante il lavoro di composizione il musicista si serve naturalmente di appunti, schemi, cifre ed anche di segni convenzionali: ma tutto ciò non costituisce notazione vera e propria, il più delle volte vale, semplicemente come appunto nmemonico.

La complessità dei rapporti e dei parametri, nella musica, elettronica, non permette di ridurre tutti gli avvenimenti sonori sul piano bidimensionale delle ascisse e delle ordinate, cosa che avviene invece nel caso delle normali partiture della musica strumentale. La prima ragione dialettica della musica elettronica è costituita dal fatto che il musicista può intervenire sulla struttura interna dei suoni, attraverso l'analisi armonica, dinamica e melodica (in funzione del tempo): una rappresentazione bidimensionale porterebbe ad una rinuncia parziale di tutto ciò.

D'altra parte neppure un modo di scrittura che nulla voglia tralasciare, allo stato attuale delle cose, può esser considerato notazione poiché costituisce notazione quel sistema generale di segni che stabilisca, una immediata relazione psico-semantica, tra gli eventi sonori e la più semplice rappresentazione di questi. I fatti ci mostrano che sino ad ora sono stati messi in pratica tanti sistemi di notazione quante, all'incirca, sono state le composizioni di musica elettronica stese in partitura.

Non è comunque da escludersi che, col tempo, stabilendosi convenzioni, necessità e abitudini che interessino simultaneamen-

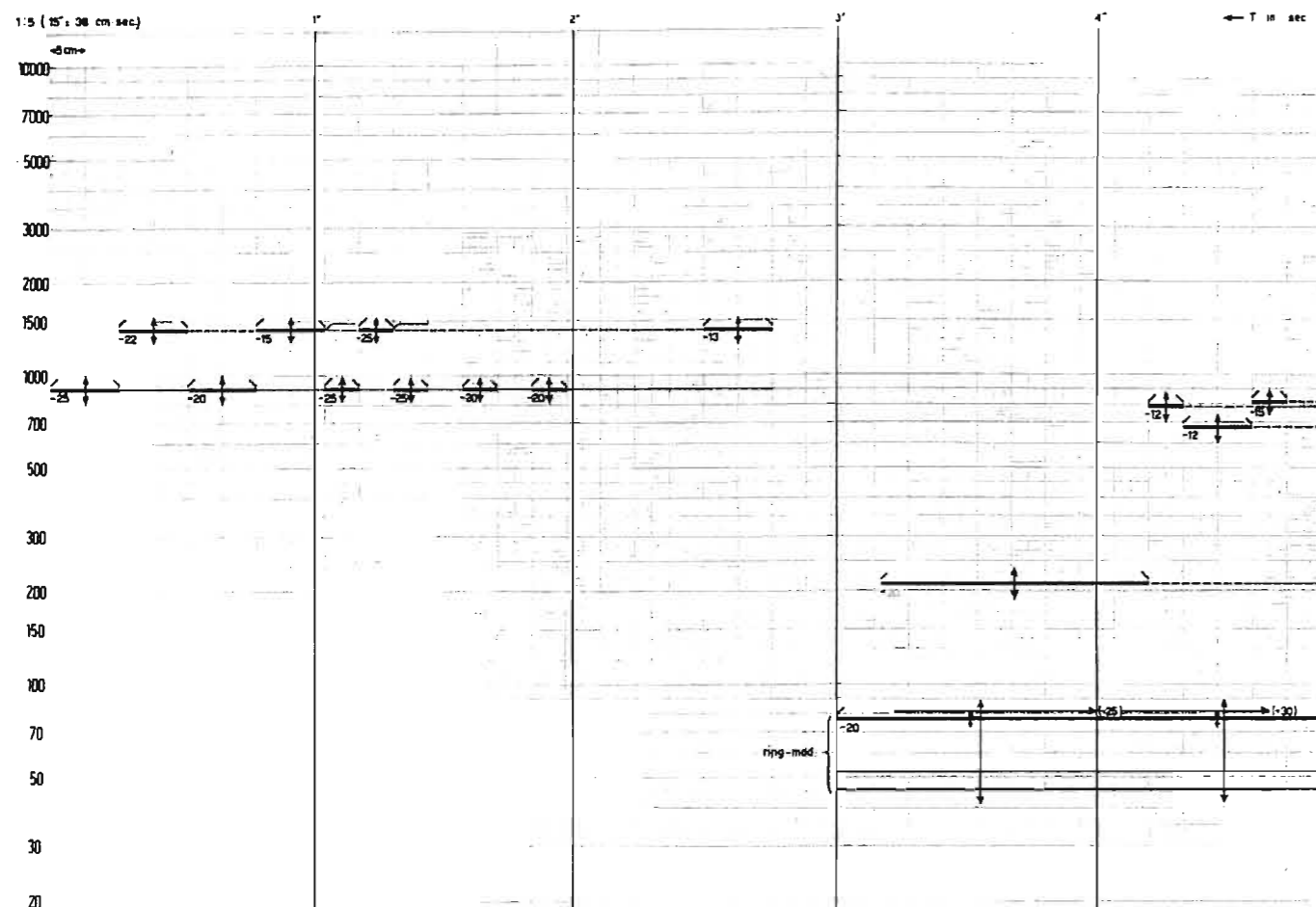



Fig. 1 Prima pagina di partitura del "Notturno" di Bruno Maderna.

te l'occhio e l'orecchio (stabilendosi cioè un rapporto formale, acquisito, tra, i due organi) sarà possibile giungere ad una totale sintesi grafica, delle strutture e delle microstrutture della musica elettronica.
Il lento processo di affinamento e di sintesi che, attraverso i secoli, ha fatto progredire i primitivi sistemi di notazione, sempre sollecitati dai mezzi strumentali e dagli stadi linguistici della musica, può esser oggi ripercorso in breve tempo, nell'esperienza elettronica, grazie all'esperienza pratica e ben sperimentata delle rappresentazioni in campo acustico ed elettronico.
Infine, non va dimenticato che i problemi di notazione che sorgono con la musica elettronica hanno ben poco a che vedere con le necessità di scrittura della musica strumentale. Mentre in quest'ultima la notazione ha lo scopo di rendere possibile l'esecuzione, nella musica elettronica, la notazione può anche limitarsi al solo e semplice scopo di ricordare quale sia stato, in linea generale, il metodo operativo usato dal compositore. Tale criterio, infatti, ha informato la stesura in partitura di «Mutazioni» di L. Berio e di «Notturno» di B. Maderna.

«Mutazioni» di Luciano Berio

(Figura in copertina, esempio n. 9 del disco allegato).

Sulle ordinate, a sinistra, è segnata in scala logaritmica la gamma di frequenze nel cui ambito vengono a trovarsi i suoni impiegati in questa pagina di partitura. Altrove, a seconda delle esigenze di estensione, la gamma delle frequenze puo essere distribuita diversamente: Sulle ascisse, in alto, è segnato il tempo in secondi (...110...111 ...112...113...) e la corrispondente lunghezza del nastro, tenendo presente che la velocità di scorrimento del nastro magnetico scelta è di 38 cm/sec. Le corte linee orizzontali distribuite sul foglio rappresentano suoni sinusoidali; accanto ad ognuno di questi è posta l'indicazione dinamica espressa in decibel (assumendo come 0 dB il livello massimo) e, per mezzo dei segni ⌐, ⟍, ⁄⁄, /⟍, l'indicazione schematica delle operazioni di taglio e connessione dei diversi pezzettini di nastro su cui sono registrati i singoli suoni; naturalmente, quando vengono effettuati dei tagli inclinati, ne risulta una corrispondente variazione dell'intensità del suono.
Le linee tratteggiate indicano la durata dell'eco relativo al suono da cui la linea tratteggiata di diparte.

Poco prima del 113" appare un suono complesso l'altezza del quale è data dalla frequenza più grave e di maggiore intensità (290 Hz). Di tale suono complesso viene indicata l'intensità relativa e l'intensità totale.

Al di sotto della notazione per musica elettronica, è riportata per confronto la corrispondente notazione dello stesso brano musicale, secondo la forma tradizionale. È evidente come, nel caso particolare, essa risulti assai più imprecisa dell'altra data l'impossibilità di definire con precisione i rapporti stabiliti fra i vari suoni primari e le varie specifiche operazioni di attacco, stacco, e modulazione, più esattamente indicate con la notazione elettronica.

«Notturno» di Bruno Maderna

(fig. 1; esempio n. 10 del disco).

L'impostazione generale della stesura in partitura di «Notturno» è identica a quella usata per «Mutazioni», il materiale sonoro è però diverso. All'1", 2", 3" viene impiegata una banda strettissima di «Suono bianco», filtrato, i cui valori in frequenza oscillano aleatoriamente (↕) di circa due periodi inferiori e superiori. Al 3", un suono di 77 Hz (↕) viene modulato con due frequenze di 52 e 46 Hz. Data la complessità dei rapporti risultati si è preferito indicare solo gli estremi del procedimento usato, non il risultato.

Elenco degli esempi e delle composizioni incluse nel disco allegato al presente fascicolo

Parte prima

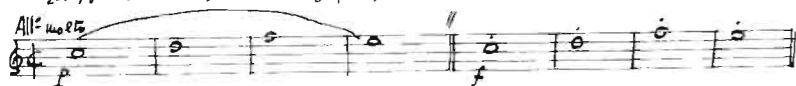
- I Voce di negro e tamburo africano
- II a) Campana
  b) Bach: canone IV a 2 dall'Offerta musicale
- III Goccia d'acqua
- IV Rumore di ferraglie
- V Piano-Tape Music
- VI Sequenza simmetrica di impulsi
- VII Sequenza asimmetrica di impulsi
- VIII Strutture di timbri armonici e disarmonici

Parte seconda

- IX Luciano Berio: «Mutazioni»
- X Bruno Maderna: «Notturno»

Note

([1]) Naturalmente la scelta di una determinata materia sonora e la scelta stessa dei mezzi strumentali può anche essere oggetto di studi a carattere fisiologico, non solo musicale: basti ricordare che ogni gruppo etnico e razziale è caratterizzabile da una media precipua di selettività auditiva; ad esempio, non a caso in Italia sono fiorite le prime scuole violinistiche, il «bel canto» e i tenori castrati come non a caso in Francia eccellono i «legni» dell'orchestra, e cosi via.

([2]) Il musicista ha, sempre messo in pratica questa esperienza anche nella musica strumentale:

([3]) Il tocco di un pianista non è un parametro musicale, non è un parametro matematico e neppure una «sensazione pura». Ogni possibile considerazione sul tocco deve essere condotta da un punto di osservazione che è in parte musicale, in parte acustico e in parte meccanico (la produzione del suono in un pianoforte avviene attraverso un sistema di leve, di molle e di contrappesi). Il tocco non è rivelabile all'analisi spettrale ma all'analisi spettrale e musicale insieme, poiché il tocco è una funzione dei parametri variabili che tali analisi sottointendono. L'analisi spettrale ci può dare i valori medi e statistici relativi al suono del pianoforte (per esempio durata del suono nelle varie condizioni di risonanza, variazione dello spettro in funzione della durata ecc.) l'esecutore ci dà i valori medi stilisti(ci (il modo di suonare Bach, Scarlatti e Beethoven, suonare di polso e d'avambraccio ecc.): il tocco è una funzione delle possibili piccole variazioni in rapporto a tali valori medi.

Nel contrasto tra la natura obiettiva dei primi e la natura soggettiva dei secondi risiede la difficoltà di poter valutare il «tocco» coi mezzi normali dell'analisi. Infatti se, da un lato, i parametri matematici della natura fisica dello stimolo possono esser influenzati dalle condizioni soggettive dell'ascolto, dall'altro, il «campo» musicale è costituito da quei parametri strettamente musicali che, nel loro complesso, stanno alla base della percezione estetica della musica: cioè armonia e densità sonora, valutazione stilistica, velocità d'esecuzione in rapporto ad un modello ideale ecc. Tutto ciò, insomma, che – in quanto si tratta di grandezze non rappresentabili sistematicamente – noi preferiamo definire come «parametri di sensibilità» e che determinano il «campo» musicale in cui lo stimolo sonoro si manifesta.

Negli strumenti a suono fisso si suole identificare la nozione di attacco col «tocco», almeno nel linguaggio corrente. E ciò ha la sua logica se prendiamo in esame la «sensazione» del tocco almeno nel caso di suoni prodotti da un pianoforte. Il pianista può produrre diverse qualità di suono in funzione della intensità e della durata; infatti la struttura armonica del suono del pianoforte dipende in parte dalla velocità con cui il martello percuote la corda e dal processo di crescita e di caduta del suono stesso. Ciò è particolarmente importante se si pensa che il suono del pianoforte non presenta fenomeni stazionari e che nella percezione di esso suono basta una variazione di tempo di 1/100 di secondo per produrre conseguenze sensibili (Seashore, Iowa Univ.). La produzione del suono nel pianoforte avviene in un tempo assai piccolo: il colpo del martello sulla corda ha una durata paragonabile a quella di un periodo della frequenza data, mentre il nostro orecchio, per riconoscere un suono, ha bisogno di un tempo paragonabile a due periodi della frequenza data. È perciò legittimo, almeno sulla base della sensazione e della pratica esecuzione, identificare il «tocco» con l'attacco del suono.

Comunque, non è possibile trarre conclusioni sul «tocco» confrontando lo spettrogramma dei suoni di un pianoforte suonato da un grande pianista e «suonato» invece da un peso lasciato cadere sui tasti dello strumento, come è stato fatto.

Solo nel caso che i suoni partecipino di una struttura musicale espressiva, ben definita e possibilmente storicamente familiare a chi ascolta è possibile cominciare a studiare tale aspetto del suono negli strumenti a suono fisso.

Gli impianti tecnici dello Studio di Fonologia Musicale di Radio Milano

Dott. **Alfredo Lietti**
della Rai

Dopo una descrizione generale dell'impianto vengono esaminate talune apparecchiature con caratteristiche particolari, quali il pannello degli oscillatori per la sintesi delle note, il filtro variabile con larghezza di banda di ± 2 Hz, e l'apparecchio per variare la durata di una registrazione senza alterare le frequenze dei suoni registrati.

1. Premesse

Nella scelta delle installazioni tecniche si è tenuto conto in primo luogo dei compiti ai quali lo Studio deve soddisfare e che possono essere così riassunti: produzione di musica elettronica e concreta, e realizzazione di commenti sonori ad uso radiofonico e televisivo.

Per ottenere gli scopi accennati, si sono potuti utilizzare solo in parte apparecchi di normale produzione commerciale, mentre per il resto si è dovuto provvedere a realizzazioni particolari. Ne è risultato un insieme di apparecchi non sempre disponibili altrove, e che in casi speciali possono anche essere utili per studi e ricerche di carattere vario. Di ciò si è anche tenuto conto nella realizzazione dell'impianto cercando di assicurarne la massima elasticità di impiego.

Si è accennato alla musica elettronica e concreta. Dal punto di vista della realizzazione tecnica possiamo dire che la musica elettronica si ottiene registrando segnali generati da circuiti elettronici, mentre la musica concreta utilizza come materiale iniziale le registrazioni di suoni e rumori di svariata origine (voci, suono di campana, colpi, strumenti musicali ecc.).

Queste registrazioni vengono fatte, o riportate, su nastro magnetico, essendo tale mezzo il più comodo per i successivi montaggi, tagli, mescolazioni ecc.

Quanto sopra in linea di massima. Trattasi di un campo vastissimo e di possibilità indeterminate, e quindi è necessaria una scelta per arrivare al piano realizzativo.

Il tecnico che deve studiare gli impianti deve innanzitutto prendere contatto con i musicisti per chiarire nei particolari le varie esigenze. E qui devono essere superate alcune caratteristiche difficoltà, dovute alla differente preparazione tra tecnici e musicisti ed al differente linguaggio adoperato nei due campi.

Prendiamo come esempio la musica elettronica. Il musicista può avere una chiara idea del suono che vuole raggiungere, ma è una idea musicale, naturalmente. Al tecnico interessano invece i dati fisici del suono, se questo suono deve essere realizzato elettricamente. E ovvio che la difficoltà può essere superata solo con un reciproco sforzo di avvicinamento.

Vediamo ora di dare qualche cenno descrittivo delle installazioni, che possiamo suddividere fondamentalmente in tre gruppi:

1) apparecchiature per la generazione di suoni e rumori elettronici;
2) apparecchiature per la mescolazione e combinazione;
3) apparecchiature per la registrazione.

2. Generazione di suoni e rumori elettronici

A) Suoni periodici

La generazione di suoni complessi è ottenuta mediante la addizione simultanea dei toni sinusoidali componenti. Tale sistema è stato preferito a quello della registrazione

Telai delle apparecchiature elettroniche dello Studio di Fonologia Musicale di Milano (da sinistra, 1° telaio: filtri; 2° telaio: oscillatori; 3° telaio: oscillatori, mescolatore elettronico e comparatore oscillografico; 4° telaio: pannello di permutazione e generatore di suono bianco; 5° telaio: pannello di permutazione e modulatore ad anello).

successiva su nastro magnetico delle varie componenti, usato nello Studio di Colonia (bibl. 1), in quanto si ottiene un notevole risparmio di tempo e si ha la possibilità di ascoltare il suono composto prima della registrazione. In tal modo l'opera del compositore viene notevolmente facilitata.

Contrariamente poi ai sistemi impieganti ruote fonetiche o simili apparati (ad esempio l'organo Hammond) i rapporti di frequenza tra le varie componenti non sono prestabiliti, ed è così lasciata al compositore la massima libertà di scelta.

Per contro, mentre i sistemi a ruota fonica assicurano una invarianza assoluta di tali rapporti, il nostro sistema esige, per assicurare tale invarianza, una notevolissima stabilità degli oscillatori. Infatti, se si ascolta una nota costituita da una fondamentale e da più armoniche, è sufficiente alterare anche di pochi periodi al secondo la frequenza di una armonica (specialmente delle prime armoniche della serie) per rilevare immediatamente un effetto di battimento.

Gli oscillatori sono in numero di nove, ed il relativo schema elettrico è rappresentato in figura 1. Si tratta di oscillatori del tipo *RC* a ponte di Wien, con stabilizzazione termica, particolarmente curati per assicurare la migliore possibile stabilità e precisione delle frequenze gererenerate. È stato scelto il circuito a ponte di Wien perché si presta meglio per una variazione continua di frequenza (bibl. 2).

Vista dello Studio di Fonologia Musicale di Milano: in fondo, analizzatore d'onda; ai lati, magnetofoni vari.

Sono state apportate alcune varianti rispetto al circuito classico, allo scopo di ottenere le migliori possibili prestazioni per lo scopo prefisso. Come è noto la frequenza generata da questo tipo di oscillatori è data da:

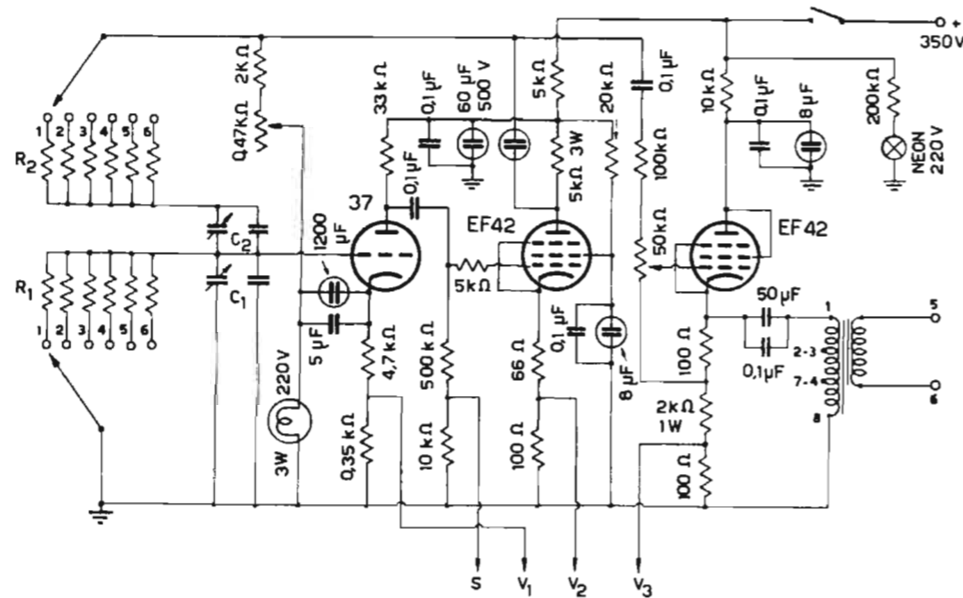
$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

essendo R_1, R_2, C_1, C_2 gli elementi che costituiscono il ponte.

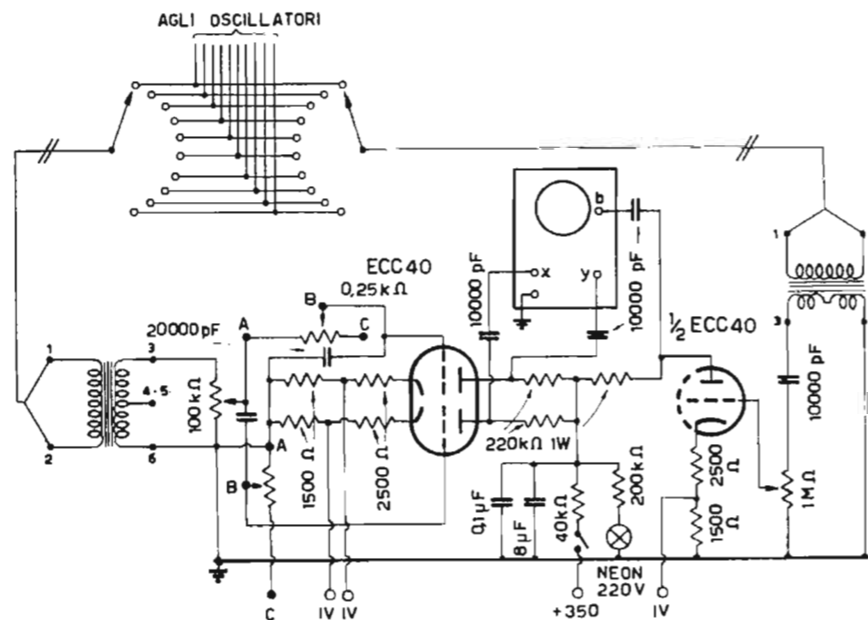
Dato che in parallelo ad un gruppo *RC* del ponte vi è l'ingresso di griglia della prima valvola, è evidente che una elevata stabilità non può essere raggiunta se l'impedenza offerta dalla valvola tra griglia e catodo presenta, delle variazioni. Pertanto conviene regolare la reazione in modo da evitare corrente di griglia (provocata da eccesso di segnale) che oltre a tutto comprometterebbe la forma d'onda dell'oscillazione generata. Inoltre conviene scegliere valvole che abbiano la minore possibile corrente di griglia in assenza di segnale.

Particolarmente indicate sarebbero state le valvole elettrometriche, l'uso delle quali avrebbe però portato a non indifferenti complicazioni circuitali; si sono perciò fatte prove con valvole di tipo più comune e si è trovato che con il triodo 37 la stabilità ottenuta poteva considerarsi del tutto soddisfacente.

Si è fatto il possibile per ridurre anche le altre possibili cause di instabilità. In parti-

Fig. 1 Oscillatore fonico a resistenza capacità di elevata stabilità.

colare le resistenze costituenti il ponte sono state espressamente avvolte con una lega a minimo coefficiente di temperatura per assicurare la minor possibile deriva, termica. Anche gli altri componenti sono stati scelti con lo stesso criterio. La stabilità di frequenza così raggiunta è dell'ordine di una unità, su trentamila.

Per lo scopo speciale richiesto era inoltre necessario garantire la massima precisione di lettura, risultato ottenuto suddividendo la gamma di frequenza coperta da ogni

Fig. 2 Comparatore per il raffronto dei rapporti fra le frequenze componenti un suono.

oscillatore in più gamme parziali, in modo da garantire la precisione dell'uno per mille nella lettura.

L'ampiezza di ogni componente viene regolata mediante un pannello di dosaggio; un millivoltmetro commutabile su ogni componente assicura la lettura diretta di tale regolazione.

È stato poi aggiunto un controllo, mediante un comparatore a tubo catodico, che assicura, quando si componga un suono sommando più note in rapporti armonici, la massima esattezza di tali rapporti (bibl. 3).

Il funzionamento del comparatore è il seguente.

Mediante un commutatore si preleva il tono fondamentale, che viene inviato in quadratura di fase, mediante adatto sfasatore, alle due coppie di placchette del tubo catodico, generando così un cerchio. Se mediante un secondo commutatore si inviano successivamente sulla griglia del tubo le varie armoniche, si otterranno sul cerchio dei punti luminosi in numero corrispondente ai rispettivi rapporti armonici. Detti punti sono fermi se il rapporto armonico è esatto e ruotano se vi sono differenze; è facile così correggere gli oscillatori fino a fermare i punti. Lo schema del comparatore è raffigurato in figura 2.

Il comparatore è stato anche usato per la taratura degli oscillatori, utilizzando una frequenza campione di 1000 periodi controllata con quarzo ad altissima stabilità. Per maggiore comodità si è anche provveduto a dividere con un multivibratore tale frequenza ottenendo impulsi a 20 Hz, 40 Hz e 200 Hz. Tali impulsi, opportunamente filtrati, procurano segnali campioni sinusoidali da inviare al comparatore per il confronto con le oscillazioni generate dagli oscillatori.

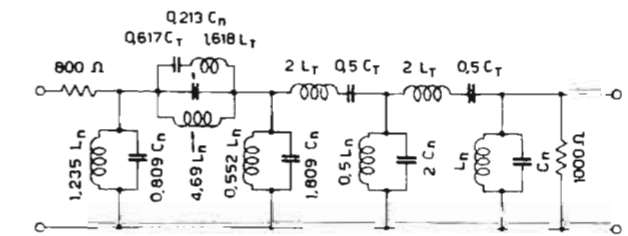



Fig. 3 Filtro d'ottava utilizzato per filtrare il "rumore bianco".

B) Generazione ed utilizzazione del rumore bianco

Oltre a generare suoni composti da toni o oscillazioni sinusoidali, variamente combinati, vi è anche la possibilità di prendere come mezzo sonoro di partenza il generatore di «rumore bianco».

Questo generatore ottiene il rumore bianco amplificando opportunamente la f.e.m. generata nel circuito anodico di una valvola a gas.

Tale rumore bianco, che contiene distribuite in modo statisticamente uniforme tutte le frequenze, può successivamente essere filtrato per mezzo del pannello a filtri di ottava (bibl. 4) in modo da ottenere il cosiddetto rumorecolorato.

Per i filtri di ottava sono stati adoperati circuiti statici utilizzanti induttanze in Ferroxcube.

Nella figura 3 sono riportati gi schemi ed i dati di calcolo di detti filtri.

Un'ulteriore selezione del rumore bianco può essere effettuata in modo da arrivare fino ad una larghezza di banda di ± 2 Hz. Tale risultato è stato raggiunto mediante l'impiego di un analizzatore d'onda della General Radio che comprende, sia un oscillatore variabile, tipo eterodina, destinato a creare, in unione col suono entrante, un

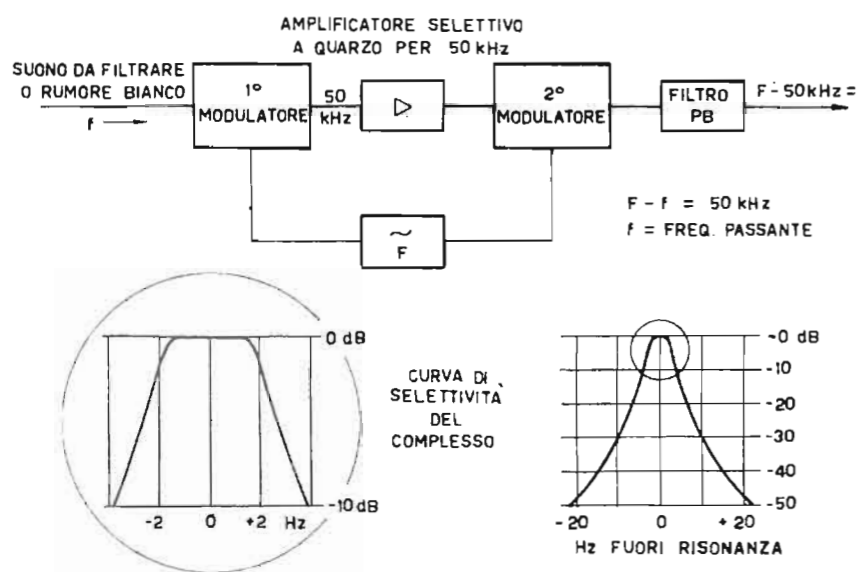



Fig. 4 Schema di principio del filtro analizzatore regolabile in frequenza e con larghezza di banda di 2 Hz.

battimento modulato a 50 kHz, sia un amplificatore selettivo a cristallo per questa frequenza, avente una larghezza di banda di 2 Hz.

Il battimento modulato a 50 kHz, che esce dall'amplificatore selettivo, viene successivamente demodulato per mezzo dello stesso oscillatore dell'apparecchio: si ricostituisce così il suono originale, opportunamente filtrato. In altre parole si è trasformato l'analizzatore in un amplificatore selettivo avente una banda ristrettissima.

La frequenza passante è quella indicata dal quadrante ed è variabile in tutta la gamma acustica.

Applicando il rumore bianco all'ingresso dell'apparecchio si può così selezionare solamente la frequenza che interessa.

La figura 4 chiarisce schematicamente il procedimento descritto.

Per completare l'elenco dei generatori segnaliamo il generatore di Toc composto da un oscillatore a dente di sega a thyratron.

Lo strumento musicale elettronico «Onde Martenot», che fa parte della dotazione di questo studio, costituisce un altro valido ausilio per la produzione sonora.

C) Combinazione e mescolazione dei suoni

Per la combinazione di questi mezzi sonori si dispone di un modulatore di ampiezza che è stato realizzato con un circuito bilanciato, ed è accoppiato ad un generatore a ponte di Wien che dà una frequenza (regolabile) di pochi periodi al secondo. Si possono ottenere così caratteristici suoni vibrati.

Un modulatore ad anello, realizzato secondo lo schema classico, con rettificatori ad ossido di rame, dà la possibilità di ottenere la somma e la differenza delle strutture sonore entranti.

Altri filtri di caratteristiche varie fanno parte dei mezzi adoperati per il trattamento dei suoni.

Si può aggiungere al suono direttamente generato un particolare effetto d'eco, prodotto o a mezzo di apposita sala, di riverberazione o con uno speciale magnetofono a più teste di ripresa opportunamente distanziate l'una dall'altra.

Un tavolo di dosaggio permette infine di effettuare agevolmente le necessarie mescolazioni.

D) Mezzi di registrazione

Apparecchiature base dello studio di fonologia musicale sono i magnetofoni, per mezzo dei quali tutte le operazioni di mixaggio, inserzione e montaggio di suoni vari, trasformazioni e traslazioni sonore, ecc., possono essere facilmente realizzate.

Per ottenere particolari effetti è stata inoltre prevista la possibilità di variare in modo continuo la velocità del nastro magnetico. Tale variazione si consegue alimentando il motore fonico dei magnetofoni mediante un amplificatore di potenza comandato da un oscillatore a frequenza variabile.

È evidente che aumentando la frequenza di alimentazione del motore si ottiene un cor-

Da “Elettronica” del 1956

rispondente aumento del numero dei giri, e quindi una maggiore velocità di traslazione del nastro. Diminuendo la frequenza si ottiene l'effetto inverso. Ora se su di un nastro abbiamo normalmente registrato un suono e lo riproduciamo a velocità alterata, produrremo una corrispondente alterazione nell'altezza del suono. La velocità di traslazione può, all'atto pratico, essere alterata senza inconvenienti fino al doppio o alla metà di quella nominale.

Abbiamo detto che a queste variazioni di velocità corrispondono variazioni di altezza dei suoni registrati. Naturalmente contemporaneamente alle altezze varia anche la velocità di esecuzione di un brano musicale.

Peraltro lo studio dispone anche di una coppia di magnetofoni corredata di un dispositivo per la variazione della durata del tempo di registrazione che mantiene inalterata l'altezza dei suoni registrati (bibl. 5).

Il dispositivo è basato sul seguente principio: si supponga che su un nastro magnetico sia registrata una frequenza per una certa durata di tempo; è ovvio che, riproducendo tale nastro con una velocità di scorrimento maggiore, la durata della registrazione diminuisce. In corrispondenza però la frequenza riprodotta è maggiore di quella registrata. Col dispositivo descritto tale alterazione di frequenza non ha luogo in quanto, mediante un congegno meccanico, la testina di ripresa si trova in movimento rispetto al nastro, in modo di mantenere costante la velocità relativa. Per conseguire tale risultato il nastro viene riprodotto, anziché da una testina fissa, da un gruppo di testine in movimento come indicato nella figura 5.

Sia V_a la velocità di traslazione del nastro e V_k la velocità tangenziale del disco che porta le quattro testine di lettura. Per mezzo di

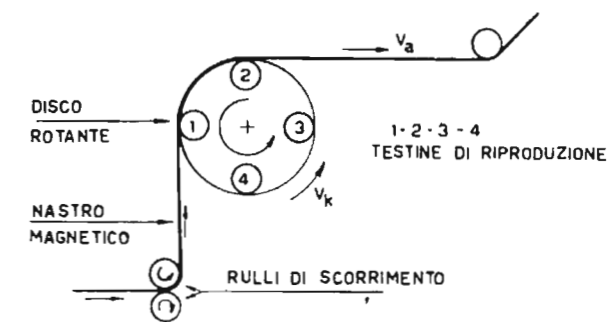



Fig. 5 Principio di funzionamento del variatore di durata senza variazione del tono di una registrazione su nastro.

un dispositivo meccanico si fa in modo che $V_a + V_k = V_r$, essendo V_r la velocità nominale di registrazione (15 o 30 pollici/sec.).

Su un tempo T la lunghezza l di nastro utilizzata per incidere un pezzo, eseguito appunto in tale tempo, è:

$$l = T\,V_a.$$

Agli effetti della corretta riproduzione della modulazione incisa senza alterazione delle frequenze è necessario che il nastro sia riprodotto alla velocità relativa V_r, che corrisponde come si è visto a quella normale.

Peraltro, riproducendo il nastro lungo l alla velocità V_r, si ha una durata della riproduzione di:

$$T' = \frac{1}{V_r} = \frac{1}{V_a + V_k} \neq T.$$

In particolare abbiamo che per:

$V_k = 0$ $T' = T$;
$V_k > 0$ $T' > T$;
$V_k > 0$ $T' > T$;
$V_k > 0$ $T' > T$;

Adoperando la macchina ad esempio su di un brano musicale si ottiene una apparente variazione della velocità di esecuzione, sul

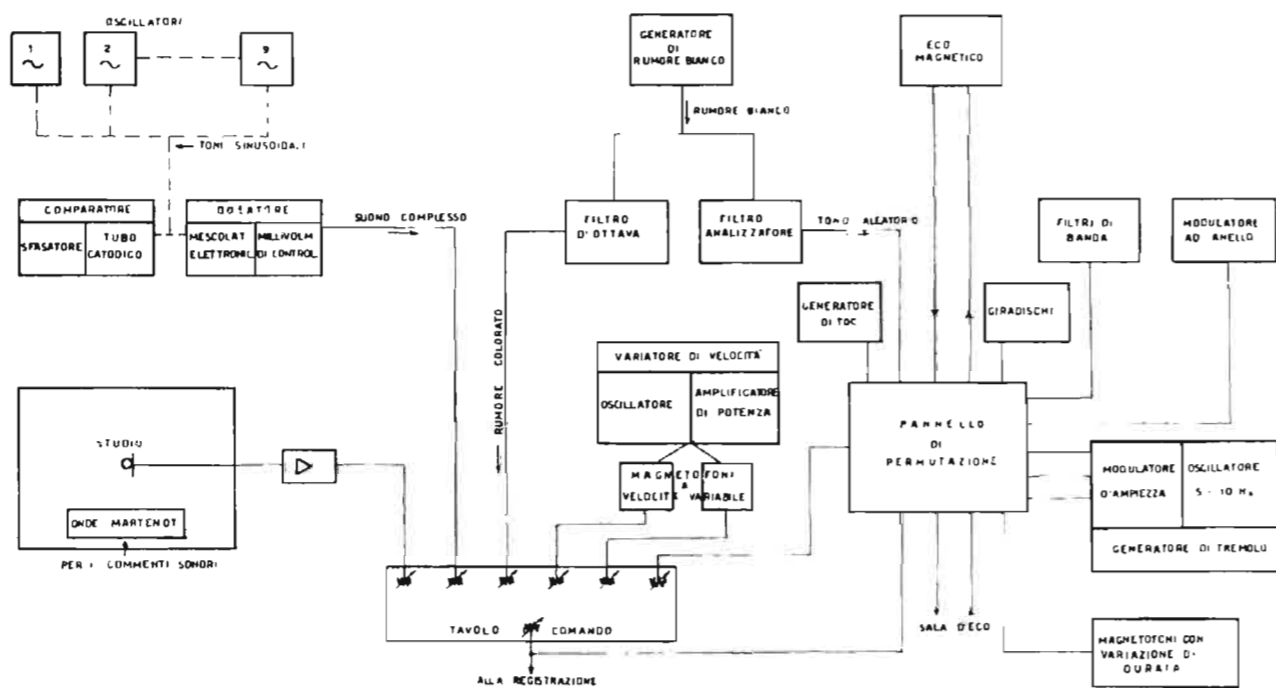



Fig. 6 Schema di principio generale delle installazioni che compongono lo Studio di Fonologia Musicale.

parlato si ha l'impressione che l'oratore parli più in fretta o più adagio, conservando tuttavia sempre la tonalità media che gli è propria.
In figura 6 è rappresentato uno schema riassuntivo delle installazioni di cui sopra si è fatto cenno. Come si vede da tale figura e dalla fotografia dell'insieme dello Studio uno speciale pannello di commutazione rende particolarmente semplice l'effettuazione delle normali operazioni di lavoro.

Bibliografia

1 Rivista Tecnica della NWDR, numero speciale *Elektronische Musik, Colonia* (1954), pag. 16-18.
2 - TERMAN F. E.: «Proc. IRE», ottobre 1939, pag. 649.
3 - BENUSSI P.: *Fasometrici catodici speciali e loro applicazioni*, «Elettronica», III, 1954, pag. 8.
4 - BOSSE: *Baudaten und Eigenschaften eines umschaltbaren Oktavsieben*, «Funk und Ton», 2 (1948), pag. 66-71.
5 - SCHIELE U. SCHOEN: «Frequenz», febbraio 1939.

Fondamenti acustico-matematici della composizione elettrica dei suoni

Prof. Dott. **Werner Meyer-Eppler**

Institut für Phonetik und Kommunikationsforschung della Università di Bonn

(Riprodotto, per gentile concessione dell'autore e dell'editore, dalla rivista «Technische Hausmitteilungen des Nordwestdeutschen Rundfunks», anno VI, 1954, numeri 1-2).

Le possibilità di composizione offerte dagli strumenti musicali elettrici sono così straordinarie che solo in rari casi è possibile un'estrapolazione dal dominio della teoria tradizionale della strumentazione alle nuove regioni musicali. Chi si addentra nel paese nuovo della «musica elettronica» si sente, in primo luogo, privato di tutti gli appoggi a lui familiari e si imbatte, per ogni dove, in fenomeni inattesi e addirittura sorprendenti. Se si vuol serbare la visione di insieme della varietà straordinariamente crescente delle manifestazioni acustiche occorre esaminare a fondo i rapporti di interdipendenza fra gli aspetti fisico, fisiologico e psicologico del problema. Per non smarrirsi, poi, in un intrico di opinioni contraddittorie è necessario anche adoperare fin dal principio una terminologia chiara e univoca ed è consigliabile basarsi, a questo riguardo, sulle definizioni e sulle denominazioni adottate o raccomandate dai comitati di specialisti della materia.

1. Definizioni

Il «Deutsche Akustische Ausschuss» propone le seguenti definizioni [1] (si riportano i termini germanici e se ne suggerisce una possibile traduzione italiana):
(Einfacher) Ton = *tono (semplice)* = suono ad andamento sinusoidale.
Tongemisch = *mescolanza di toni* = suono composto di toni semplici di frequenze arbitrarie.
(Einfacher) Klang = *nota (semplice)* = suono composto di toni parziali armonici.
Klanggemisch = *mescolanza di note* = suono composto di note con toni fondamentali di frequenze arbitrarie.
Geräusch = *rumore* = mescolanza di toni a cui corrisponde uno spettro continuo o che è composto di un numero molto elevato di toni singoli le cui frequenze non hanno fra loro rapporti espressi da numeri interi.
Knall = *detonazione* = colpo sonoro, specialmente di forte intensità.

Questo elenco stupirà certamente il musicista perché in parziale contraddizione con la terminologia a lui abituale [2].
Allo scopo di evitare malintesi, quando ci si riferisce alle sensazioni prodotte dagli stimoli sonori occorre sempre associare il termine *sensazione* al nome dello stimolo e parlare perciò di *sensazione di tono semplice*, di *sensazione di mescolanza di toni*, di *sensazione di rumori*, ecc.
È da avvertire che queste qualità fisio-psicologiche non si possono definire approssimativamente in modo altrettanto facile degli oggetti fisici omonimi.
La «American Standards Association» ha cercato di completare le definizioni fisiche con le qualità di sensazione nel modo seguente [3]:
Tono: è una sensazione sonora (sound sensation) che possiede la qualità dell'altezza (di tono) (pitch).
Tono semplice (tono puro): è una sensazione sonora che è caratterizzata da una sola altezza (di tono) singleness of pitch).
Tono complesso: è una sensazione sonora

L'introduzione di generatori elettrici di suoni nei processi di produzione musicale obbliga il compositore a risolvere importanti problemi psico-acustici poco comuni. Le relazioni multiple fra suoni e sensazioni associate vengono espresse mediante una formula semplificata e descrittiva che tiene conto delle proprietà dell'orecchio umano e che permette di definire in precedenza con una certa precisione gli attesi effetti sonori.

caratterizzata da più altezze (di tono).
Stupisce il non trovare nella terminologia americana la definizione di ciò che dovrebbe chiamarsi sensazione di rumore. In compenso, però, è stata adottata quella di *timbro*, che manca nella lista tedesca.
Timbro (ted. Klangfarbe) qualità musicale) è quell'attributo della sensazione uditiva in base alla quale l'ascoltatore può stabilire che due fenomeni sonori (sounds) contemporanei di uguale intensità soggettiva (loudness) e di uguale altezza (pitch) sono diversi l'uno dall'altro.

2. Relazioni tra stimolo e sensazione

Il nostro organo uditivo reagisce agli stimoli acustici in modo tutt'altro che uniforme. Non sussiste nemmeno corrispondenza biunivoca tra stimolo e sensazione. È molto diffusa la nozione dell'ottica psicologica che i colori non sono caratteristiche dell'oggetto bensì, ed esclusivamente, della qualità della sensazione; ma si è, finora, accordata scarsa attenzione alla corrispondente relazione dell'acustica.
Già sul piano concettuale si osserva una assai diffusa incapacità ad effettuare una distinzione fra i fenomeni fisico-acustici (e la loro astratta rappresentazione mediante la scrittura musicale) e le qualità acustiche delle sensazioni. Tra i segni grafici delle note e le sensazioni sonore viene stabilita una stretta correlazione che non è ammissibile; così per esempio vengono considerati equivalenti un tritono emesso dai corni nell'ottava del do[2] e un tritono ottenuto dallo xilofono nell'ottava del do[5] benché, con tutta sicurezza, nella sfera delle sensazioni musicali questa equivalenza non sussista.
In analogia con il linguaggio abituale dell'ottica psicologica, vogliamo chiamare *valenza* di uno stimolo quella caratteristica dello stesso da cui dipende l'uguaglianza o la diversità della sensazione. Se stimoli obbiettivamente diversi (la cui diversità sia cioè fisicamente misurabile) producono sensazioni uguali, si dirà che le valenze corrispondenti sono «condizionatamente uguali» e le sensazioni si chiameranno «metamere» ([4]).
Le valenze si possono rappresentare in uno spazio pluridimensionale assumendo come coordinate le loro componenti, per esempio ampiezze, frequenze, coordinate locali e temporali, ecc. Nello spazio delle valenze ad ogni sensazione corrisponde un luogo di sensazione. Questi luoghi non formano però un insieme continuo, ma sono invece separati da soglie di incremento. La struttura cellulare che ne risulta è il *campo metrico* delle valenze che, di regola, non è costante ma dipende dalla velocità di variazione degli stimoli ([5]). Così, per esempio, i suoni fisici *trascinano* il loro campo metrico per un ampio tratto e possono essere distinti solo se si succedono immediatamente l'uno all'altro (bibl. 12). Questo fenomeno si chiama *adattamento*. È ben noto l'adattamento delle cellule sensoriali a un diverso campo assoluto di sensibilità (bibl. 9, 11). Esso fa sì, per esempio, che un *fortissimo* che succeda immediatamente ad un *pianissimo* o ad una pausa venga sentito più intenso di quanto avverrebbe se seguisse a un *forte*.
Nella figura 1 è indicato schematicamente, secondo v. Békésy (bibl. 11, pag. 132) l'effetto dell'adattamento sull'intensità della sensazione per un attacco *mf* e successivo improvviso aumento, dopo due minuti, dell'intensità dello stimolo a *f*.

Fig. 1 Andamento dell'intensità dello stimolo e della intensità di sensazione per un attacco *mf* e subitaneo aumento dell'intensità dello stimolo a *f* (schematico).

Per suoni isolati i luoghi delle valenze si possono distinguere solo grossolanamente. Se gli stimoli si succedono compatti nel tempo, la rete diventa più fitta, ma nello stesso tempo si contrae.
La struttura cellulare del campo delle valenze rende inefficaci le variazioni di stimolo minori della soglia di accrescimento. Non si può ottenere una gradualità fine a piacere né per le altezze di tono né per le intensità soggettive. Per esempio, con una intensità soggettiva di 80 Phon in tutto il campo di udibilità e per prestazioni successive, si possono distinguere soltanto poco più di 2000 gradazioni di altezza di tono, mentre ancor meno marcata è la capacità di distinzione delle variazioni di frequenza delle formanti. Nel caso più favorevole, cioè in quello delle vocali accentuate, la minima variazione percepibile della frequenza baricentrica di una formante è dell'ordine del 6‰.
Le persone dotate del cosiddetto «udito assoluto» (absolute Gehör), oltre alla facoltà di percepire differenze di frequenza di prestazioni sonore successive, quando le due frequenze si succedono con un intervallo di tempo non molto grande, hanno anche quella di individuare l'altezza di note eseguite separatamente, così come sa fare per i toni cromatici un virtuoso del colore. Tra i 50 e i 450 Herz è possibile denominare con sicurezza più di 70 frequenze distanti l'una dall'altra di circa mezzo tono (bibl. 17); tuttavia l'osservatore sprovvisto dell'udito assoluto è capace di individuare soltanto cinque categorie di frequenze (bibl. 10).

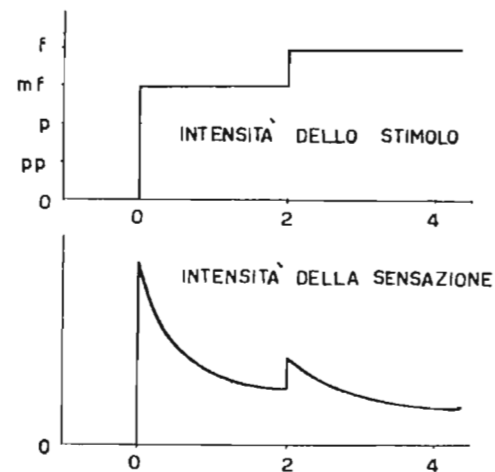
3. Morfologia degli stimoli acustici

a) Classificazione degli avvenimenti sonori.

Qualsiasi fenomeno sonoro è completamente individuato dall'andamento temporale e spaziale del suo *potenziale di velocità*; da esso si ricavano, come è noto, la *pressione sonora* differenziando rispetto al tempo e la velocità di vibrazione differenziando rispetto alle coordinate spaziali (bibl. 16). Benché quest'ultima abbia molta importanza per la formazione di impressioni sonore plastiche, ci limiteremo nel seguito a considerare l'andamento della pressione sonora in un punto di osservazione fisso, considerando perciò tale pressione p funzione del solo tempo:

$$p = p\ (t).$$

I vari andamenti fisicamente possibili della pressione sonora possono essere classificati secondo i criteri più diversi; se però si vuole che tale classificazione abbia rapporti evidenti con le sensazioni sonore, si deve ricorrere a procedimenti di classificazione speciali che cerchino di simulare il meccanismo di analisi dei suoni da parte dell'orecchio, nei limiti delle conoscenze che di questo meccanismo si possiedono. Tale connessione dei procedimenti di classificazione morfologica con lo stato momentaneo delle nostre conoscenze del meccanismo uditivo non è naturalmente molto comoda, poiché può darsi il caso che un procedimento, valido per un certo tempo, debba ad un certo punto essere abbandonato a seguito della acquisizione di nuove conoscenze fisio-psicologiche. È questa, tuttavia, una conseguenza inevitabile se non si vuole rinunciare completamente a dare uno sguardo approfondito all'essenza dei suoni e dei rumori.

Da "Elettronica" del 1956

b) L'analisi armonica.

Il metodo di classificazione più elementare, da più lungo tempo noto e quasi esclusivamente impiegato nelle trattazioni scientifiche musicali, deriva dall'«analisi armonica»). In termini matematici, esso consiste nella scomposizione di pressioni sonore periodiche in componenti sinusoidali («armoniche») le cui frequenze stanno fra loro come i numeri interi. Nell'aggettivo «periodico» è implicita la premessa per l'applicabilità del metodo: che il fenomeno oscillatorio abbia andamento esattamente uniforme e non abbia né un principio né una fine. L'analisi armonica è perciò un procedimento approssimato di classificazione dei fenomeni sonori, poiché in esso non appare esplicitamente il tempo, che dei fenomeni stessi è il parametro più essenziale. Sovente si sorvola questa importante restrizione e da ciò consegue l'impossibilità di mettere d'accordo i dati ricavati con le osservazioni di carattere psicologico-acustico.

Fig. 2 Spettro FT: *a)* rappresentazione prospettica; *b)* rappresentazione con annerimento.

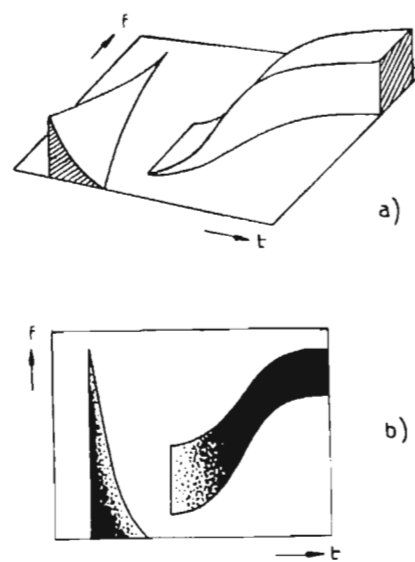
c) L'analisi frequenza-tempo.

L'analisi frequenza-tempo (cfr. appendice matematica) è invece assai soddisfacente dal punto di vista della concordanza fra i suoi risultati e le sensazioni uditive. Con essa si passa dalla serie di Fourier (analisi armonica) all'integrale di Fourier. Il risultato di un'analisi armonica è rappresentabile con un certo numero di ampiezze spettrali discrete e indipendenti dal tempo (spettro di linee) mentre lo spettro frequenza-tempo (abbr. FT) calcolato con l'integrale di Fourier è uno spettro continuo e, per di più, funzione del tempo. Di esso non si può dare, come per lo spettro di linee dell'analisi armonica, una rappresentazione a due dimensioni perché le coordinate indipendenti sono tre: tempo, frequenza e ampiezza spettrale. Si deve perciò ricorrere ad una rappresentazione prospettica o mettere in evidenza la terza coordinata con qualche segno distintivo visibile (per esempio con un annerimento graduato, come si fa nei «sonogrammi» del procedimento noto sotto il nome di «Visibile Speech» (bibl. 5). Nella figura 2 è riprodotto uno spettro FT in rappresentazione prospettica e in rappresentazione con annerimento.
Nella determinazione (analitica o mediante apparati) dello spettro FT si deve tener conto di un'altra essenzialissima circostanza. Mentre, cioè, un fenomeno sonoro periodico ammette una sola scomposizione armonica, in linea di principio un fenomeno aperiodico si può rappresentare con uno spettro FT in infiniti modi. Questa arbitrarietà dipende dal fatto che vi è un parametro, chiamato «intervallo di analisi» della composizione spettrale, che si può prefissare a piacere (bibl. 7). Quanto più è piccolo l'intervallo di analisi prestabilito, tanto più fine è la suddivisione temporale dello spettro e tanto più grossolana è, nello stesso tempo, la scomposizione spettrale. Infatti con un intervallo di analisi grande si ha una grossolana localizzazione *temporale* del fenomeno ma si ottiene una decomposizione spettrale che mette in evidenza particolari più numerosi: la «selettività» è elevata.
Il caso limite di un intervallo di analisi infinito che — per una scomposizione ottima delle frequenze — non consente più alcuna localizzazione temporale, non è altro che la già ricordata analisi armonica.
L'altro limite è quello di un intervallo di analisi infinitesimo, nel quale non ha addirittura più luogo alcuna decomposizione spettrale ma si ottiene una riproduzione fedele dell'andamento temporale della funzione pressione acustica: è questo il caso delle comuni registrazioni oscillografiche.
Questa relazione intrinseca fra le risoluzioni temporali e frequenziali di un fenomeno sonoro è conseguenza di una legge matematica che lega l'ampiezza Δt dell'intervallo di analisi all'ampiezza Δf delle più fini strutture frequenziali, che in matematica è nota sotto il nome di disuguaglianza di Schwarz e in fisica sotto quella di relazione di indeterminazione, ed è:

$$[1] \qquad \Delta f \cdot \Delta t \geq 1.$$

4. Spettro FT e proprietà dell'orecchio

La grandezza dell'intervallo di analisi ha importanza decisiva agli effetti del grado di concordanza tra lo spettro FT di un avvenimento sonoro e la corrispondente sensazione acustica.
Si sa, da numerose ricerche, che non è possibile distinguere gli stimoli sonori che si succedono in serie l'uno all'altro in un intervallo totale di tempo minore di 25 ms ([6]); così, per esempio, un'eco viene percepita soltanto se il suo tempo di transito è superiore a 25 ms. Solo per intervalli di tempo minori vale l'assioma spesso malinteso, dell'insensibilità dell'orecchio alle fasi (bibl. 2).
Nelle registrazioni magnetiche su nastro eseguite alla velocità di 76,2 cm/s la «lunghezza critica» e perciò di 1,9 cm; tratti di nastro di lunghezza inferiore possono essere riprodotti in un verso oppure in quello opposto senza che cambi la sensazione sonora.
L'indeterminazione di frequenza Δf 40 ≥ Hz che si ricava dalla [1] per un intervallo di analisi Δt = 25 ms vale tuttavia solo per *presentazioni simultanee*. La soglia per suoni successivi nel caso di toni semplici e note, è (li circa 0,5 Hz nella zona bassa del campo di udibilità e cresce con la frequenza (per 10 000 Hz ha il valore di 40 Hz); questi dati valgono per un livello di pressione sonora di 60 dB sopra la soglia di udibilità.
Il fatto, poi, che un osservatore possa effettivamente sentire tutte le finezze spettrali che matematicamente vengono messe in evidenza in un intervallo di 25 ms, dipende ancora in larga misura dalle sue capacità acustico-gnostiche, dalla direzione della sua attenzione e dalla sua familiarità con il fenomeno sonoro che gli è presentato. Per l'ascoltatore medio, dunque, la strutturazione frequenziale di un sonogramma deve essere considerata come un limite superiore della finezza di analisi, che in ogni caso è inutile superare ([7]).
I contenuti di percezione provocati da un dato andamento della pressione sonora non possono in genere, trattandosi di un fenomeno centrale, essere ricavati dalla rappresentazione spettrale matematica. Appare tuttavia sostenibile l'opinione di P. Schaeffer che gli intervalli di tempo minori di 0,1s forniscano la materia sonora mentre le forme sonore appaiono soltanto in intervalli più lunghi (bibl. 13).
Entra poi anche in gioco un altro punto di vista. l'orecchio possiede, è vero, in prima approssimazione le proprietà che gli vengono attribuite dall'analisi FT ([8]). Si verificano però singolarmente processi che tendo-

no a turbare questo semplice quadro; così, specialmente, l'effetto di mascheramento che produce un indebolimento o addirittura una cancellazione degli intervalli spettrali meno intensi da parte di quelli più intensi.

Inoltre, contrariamente a quanto avviene per gli ordinari mezzi fisici di analisi, le proprietà analitiche dell'orecchio non sono invariabili col tempo. Se si esegue cioè una nota pura, dopo pochi secondi cessa la capacità di definirla, cioè, per esempio, di riconoscere in essa con sicurezza la vocale ö o il suono di un oboe. Questo fenomeno veramente complicato, che probabilmente è riconducibile a processi centrali, è chiamato *fusione* (in tedesco: Verschmelzung) ([9]). Nella descrizione dei fenomeni conseguenti alla fusione si incontrano gravi ostacoli, poiché sono già sensibili influssi della personalità dell'ascoltatore.

È risultato poi che l'orecchio è capace di riconoscere in un fatto sonoro periodicità che non vengono messe in evidenza dall'analisi FT ([10]). Sono stati perciò proposti altri procedimenti di analisi che invece della frequenza introducono altre grandezze ricavabili dal processo sonoro. Il relativo spettro rimane tridimensionale, cioè ha come coordinate, oltre alla nuova grandezza, la sua ampiezza e il tempo. Ricordiamo qui, fra questi metodi, l'analisi di fase (bibl. 3), l'analisi di espansione (bibl. 8) e l'analisi di correlazione (bibl. 1). Ciascuno aggiunge al quadro sinora abituale lineamenti nuovi che ben si accordano con le sensazioni sonore senza che si possa dire quale di essi sia da considerare più adatto. Vogliamo perciò cercare di svolgere le nostre considerazioni ulteriori per mezzo dello spettro FT che, per ora, è il metodo di rappresentazione meno controverso.

5. Note e rumori nel campo fisico e nel campo fisiologico

Cominciamo perciò a tradurre sensatamente con uno *spettro FT semplificato* le definizioni di nota (fisica) e di rumore date nel paragrafo 1; per il calcolo, rimandiamo alla appendice matematica.

I toni, le note e i rumori sono processi stazionari; la loro struttura spettrale, se si sceglie un intervallo di analisi conveniente (dal punto di vista uditivo) è cioè praticamente indipendente dal tempo. Poiché l'intervallo di analisi è finito, non si hanno naturalmente linee spettrali nette, come nell'analisi armonica.

Ciò vuol dire che possono essere ammesse certe deviazioni di posizione di tali poco nette linee spettrali senza che vari il carattere dello spettro; l'orecchio è tollerante. Una nota semplice con componenti di frequenze 300, 400 e 500 Hz rimane perciò nota semplice anche se queste frequenze vengono un po' alterate, per esempio in 306, 398 e 502 Hz. In verità la variazione viene avvertita, però non come se la nota divenisse impura, bensì come una fluttuazione di timbro. L'addizione di toni semplici fisici, cioè di oscillazioni sinusoidali, fornisce in genere — con stupore dei musicisti — un risultato del tutto diverso da quello che ci si attenderebbe dalla comune esperienza musicale con note pure (cioè con i fenomeni sonori prodotti dagli strumenti musicali tradizionali).

Se cioè per l'esperienza poc'anzi ricordata si adoperano note pure invece di toni puri, le variazioni di frequenza indicate producono già un vivo effetto di raucedine. La ragione di questa diversità di comportamento dei toni e delle note sta in ciò, che nel caso delle note avvengono non solo fluttuazioni di timbro, che sono appena avvertibili, ma anche fluttuazioni di ampiezza che sono ben più nocive. Sempre con riferimento all'esempio sopra considerato, ciò vuol dire che la 4ª armonica di 306 Hz (1224 Hz) produce con la 3ª armonica di 398 Hz (1194 Hz) una fluttuazione di ampiezza, battimento, di frequenza 1224 – 1194 = 30 Hz che suscita un effetto di raucedine acustica molto sensibile. Il battimento, o fluttuazione di ampiezza, è tanto più sgradevole quanto più elevati sono i valori delle armoniche in contrasto (fig. 3). Ne consegue che le deviazioni dei rapporti di frequenza dai valori interi sono tanto più disturbanti quanto più le note adoperate sono ricche di armoniche. Una mescolanza di toni distanziati, le cui frequenze cioè differiscano almeno di 100 Hz, può riuscire strana ma mai appare roca o come affetta da rumore o «dissonante». Perturbazioni dovute a toni di combinazione che si formano nell'orecchio compaiono soltanto quando l'intensità è superiore a 80 Phon circa.

D'altro canto accordi di due o tre suoni temperati, che secondo l'ordinaria designazione musicale dovrebbero essere considerati «consonanti» producono spesso un effetto assai sgradevole se si sopprimono le note più basse.

Quando si eseguono contemporaneamente due toni semplici (cioè oscillazioni sinusoidali) di intensità non eccessiva, si avvertono in particolare le seguenti sensazioni: se la differenza di frequenza è minore di 15 Hz circa (valore che diventa doppio o triplo nella zona superiore del campo di udibilità) si odono fluttuazioni di ampiezza, o battimenti. Le sensazioni sonore suppletive da ciò derivanti si possono approssimativamente delimitare (come segue: «tintinnii» (ottave del do^5 e del do^6), «cinguettii» (ottava del do^7), «pigolii» (ottava del do^8). Per una differenza di frequenza maggiore si ha una specie di «brontolio » e, al disopra della ottava del do^5, un «ronzio metallico». Da questo campo di sensazione si passa con continuità alla sensazione di terza minore, appena il rapporto fra le frequenze

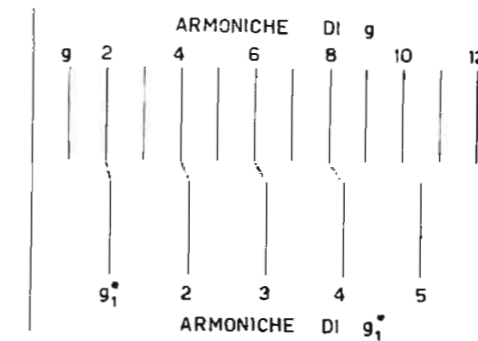



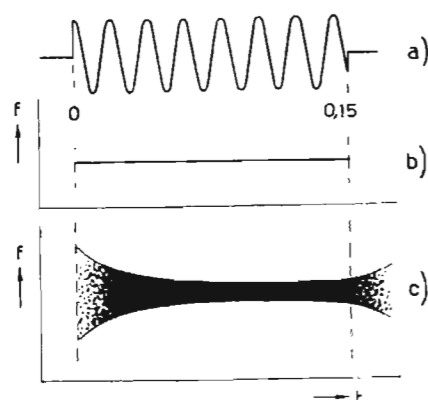
Fig. 3 Fluttuazioni di ampiezza (tratteggiate) tra le armoniche di due note *g* e g_1 (= g_1 disaccordato).

si avvicina a 5/6; perciò l'intervallo di gorgoglio per le frequenze alte è maggiore che per le basse. Giova qui notare che, contrariamente a quanto sostenuto dalla maggior parte delle teorie sugli intervalli sinora proposte, è molto probabile che il carattere di un intervallo musicale (terza, quinta, sesta) non dipenda dai toni differenziali «soggettivi», bensì dalla capacità dell'orecchio di percepire le periodicità come una speciale qualità dei suoni.

Da ciò consegue che l'usuale distinzione tra toni parziali «armonici» e «disarmonici» e tra rapporti di frequenze «razionali» e «irrazionali» diventa priva di oggetto quando non entrino in gioco fluttuazioni di ampiezza.

La somma di due o più oscillazioni sinusoidali le cui frequenze siano tutte comprese nell'intervallo Δf si distingue, come si è detto, da un tono semplice soltanto per la modulazione regolare o irregolare di frequenza o di ampiezza. La sensazione sonora continua ad essere quella di tono semplice. Se invece le frequenze delle componenti sinusoidali molto vicine l'una all'altra sono distribuite in un campo di frequenze connesso notevolmente più grande dell'intervallo di frequenza Δf dell'orecchio, il tono o la nota assumono carattere di rumore. L'altezza di tono di questo rumore rimane nondimeno così chiaramente riconoscibile che esso può essere adoperato per comporre melodie. È risultato che per la

composizione di melodie si possono utilizzare appieno rumori il cui intervallo di frequenza non sia sostanzialmente superiore ad una terza maggiore. Non fa differenza alcuna, né fisica né psicologica, che il rumore sia ottenuto *addittivamente* componendo singole oscillazioni sinusoidali abbastanza vicine l'una all'altra, oppure *selettivamente*, mediante filtri, da un rumore a larga banda (per es.: un rumore bianco); nei due casi si hanno sensazioni metamere. Da ciò, inversamente, consegue che un filtro a banda passante abbastanza stretta (meno di 20 Hz) può servire a ricavare un tono semplice da un rumore bianco. Le fluttuazioni di frequenza e di ampiezza che si osserverebbero sull'oscillogramma del corrispondente fenomeno oscillatorio si succedono a intervalli di tempo maggiori di 50 ms; esse, quindi, non alterano il carattere del tono.

Fig. 4 Tono breve:
a) oscillogramma;
b) schema di produzione e spettro FT presunto;
c) spettro FT vero (semplificato).

Note fisiche pure senza tono fondamentale

I mezzi sonori elettronici consentono di generare suoni difficilmente realizzabili per via meccanico-acustica. Uno dei mezzi più semplici, e sonoramente più efficaci, è il filtraggio di un suono, per esempio con un filtro di terza o di ottava. Come suono di partenza il più adatto è una nota molto ricca di armoniche superiori, come una successione periodica di impulsi o un'oscillazione a denti di sega.

Dal suono così filtrato si ottiene, con particolare evidenza, un fenomeno di sensazione che per lo più rimane inosservato negli strumenti musicali tradizionali, sebbene anche con questi esso possa essere in vari casi provato.

Avviene cioè che una nota che abbia attraversato un filtro di terza o di ottava possieda simultaneamente due altezze completamente diverse. Una altezza (il «tono residuo») corrisponde alla frequenza fondamentale del materiale originario (per es.: la frequenza di successione degli impulsi), mentre l'altra altezza (il «tono formante») è determinato dalla banda passante del filtro. Se perciò attraverso un filtro di terza avente una banda passante che vada da circa 2250 a 2850 Hz si manda una successione di impulsi di frequenza fondamentale 440 Hz (la^3) si percepisce un suono che ha, contemporaneamente, le qualità di un la^3 e di un la^6 (2640 Hz, la più forte armonica del suono filtrato); appare predominante l'una o l'altra delle due altezze, secondo il contesto musicale.

È molto difficile dire quale è il registro di tali suoni filtrati a doppio aspetto. Anche in questo sono decisivi i rapporti musicali. Particolarmente degno di nota è l'effetto di accordo in una successione all'unisono di suoni filtrati; l'ascoltatore non prevenuto è facilmente portato ad attribuirlo a un carattere di modo maggiore o minore.

6. Fenomeni non stazionari

Consideriamo ora i toni semplici che subiscano improvvise variazioni di ampiezza o di frequenza o di fase. L'ipotesi, che pur apparirebbe ovvia, che un tono semplice susciti una sensazione di tono semplice anche se la sua ampiezza o la sua fase o la sua frequenza vari improvvisamente, è inesatta. Un tono semplice che abbia all'istante t = o inizio improvviso (cioè senza transitorio fisico) e che duri poi, per esempio per 1/10 s, con intensità, immutata. (fig. 4*a*) non ha uno spettro FT come quello di figura 4*b*, come anche in relazione al processo di formazione del suono a prima vista si potrebbe pensare, bensì come quello della figura 4*c*. L'improvviso inizio e l'improvvisa cessazione del treno di oscillazioni producono un notevole *allargamento* dello spettro FT, a cui corrisponde una sensazione uditiva di *crac* (fenomeno transitorio fisiologico). Il crac finale è generalmente più debole di quello iniziale per effetto del mascheramento da parte della precedente parte stazionaria del tono e per la cancellazione dovuta alla riverberazione dell'ambiente.

Deve passare dunque un certo tempo dalla inserzione di un tono semplice prima che si possa, con sicurezza riconoscerne l'altezza [11], Questo tempo, corrispondente alla definizione di «soglia di riconoscimento» consumerà, una parte più o meno grande dell'intervallo di analisi. Da ricerche in proposito, dovute specialmente a K. Schubert (bibl. 14), risulta che solo in un campo di frequenze medie, attorno 2000 Hz, si può contare su un intervallo di analisi costante. La larghezza dell'intervallo cresce sia per le frequenze più alte sia per quelle più basse. La tabella seguente (secondo Schubert) dà per diverse frequenze di un tono semplice la durata necessaria per il riconoscimento; si tratta di valori medi perché si ha, da un osservatore all'altro, una considerevole dispersione.

Frequenza	100	200	500	1000	2000	3000	4000	6000	Hz
Durata	45	30	26	20	13	14	14	18	ms

Le considerazioni precedenti si possono facilmente estendere a qualunque avvenimento sonoro. Accade cioè che da qualsiasi improvvisa variazione di un parametro di una oscillazione (per es.: ampiezza, frequenza, fase) consegue un allargamento dello spettro FT, di misura tanto maggiore quanto più repentino è il passaggio da una condizione di oscillazione ad un'altra. Si ha, quindi un effetto che può andare dal divenire indistinta l'altezza al divenire rumoroso il suono.

Se si vuol ridurre la quota di rumore occorre fare in modo che il passaggio sia graduale. Nei montaggi di nastro magnetico, per esempio, si tagliano i nastri obliquamente anziché perpendicolarmente ai bordi. Il crac dovuto a inserzione elettrica di toni o di note si elimina mediante speciali elementi di circuito che limitano la velocità di aumento dell'ampiezza dell'oscillazione.

Da "Elettronica" del 1956

Se si fa passare un fenomeno che comincia e cessa bruscamente attraverso un filtro la cui banda passante sia più stretta dello spettro del suono che risulta allargato a causa dell'improvvisa variazione di ampiezza, i transienti iniziale e finale vengono fisicamente soppressi; allora le sensazioni di tono e di nota cominciano e cessano morbidamente.
Rimane da chiarire con quale rapidità, può variare un parametro del fenomeno oscillatorio senza che si abbia un effetto apprezzabile di indistinzione o di formazione di rumore. A tale quesito ha dato risposta O. Sala (bibl. 12) nel caso di variazioni di ampiezza di toni semplici. Se si adotta come misura della velocità, di variazione dell'ampiezza il *decremento logaritmico* Λ ([12]), si ha che per $\Lambda = 0,23$ è ancora possibile giudicare con sicurezza l'altezza di tono, mentre per $\Lambda = 0,96$ è possibile soltanto dare giudizi imprecisi dell'altezza stessa.

7. Schema di produzione e spettro

Le precedenti considerazioni sui fenomeni transitori fisiologici e le corrispondenti sensazioni di toni e di note ci conducono in un campo di importanza, decisiva per la generazione elettrica dei suoni: la relazione fra il materiale registrato su nastro secondo i piani (partitura, copione) del compositore e lo spettro FT del materiale stesso. Solo lo spettro FT ha infatti rapporto immediato con le sensazioni sonore.
Sia il materiale sia il suo spettro possono essere rappresentati con riferimento ad un sistema piano di coordinate se le ampiezze vengono caratterizzate con annerimenti (fig. 2*b*). Esiste, è vero, una simile possibilità, di rappresentazione anche per l'andamento temporale delle sensazioni e delle percezioni, cioè del correlato psichico di uno spettro FT. Ma poiché, per la natura stessa delle cose, di questa possibilità si può dare solo una idea molto vaga, noi ci limiteremo ad esaminare i rapporti, che si possono formulare matematicamente in modo univoco, fra lo schema di produzione di una composizione, cioè la «partitura» scritta intesa nel senso più generico, e lo spettro FT che consente di descrivere adeguatamente lo schema stesso, una volta, fissato un determinato intervallo.
Le relazioni più importanti verranno illustrate con l'aiuto di alcuni esempi; per la formulazione matematica si rimanda all'appendice apposita.

1. — Nella figura 4 si è già mostrato quale sia l'immagine spettrale di un fenomeno sinusoidale che cominci e cessi bruscamente. Se si fanno succedere rapidamente l'uno all'altro (fig. 5), due fenomeni sinusoidali di frequenze diverse (modulazione di frequenza, tremolo), per esempio con un commutatore elettronico, il fatto si percepisce tanto più nettamente quanto più la frequenza di successione supera l'intervallo caratteristico di frequenza dell'orecchio. Lo stesso avviene quando la frequenza è fissa ma si hanno variazioni periodiche di ampiezza (modulazione di ampiezza, vibrato). Le modulazioni di ampiezza e di frequenza possono quindi servire a rendere i suoni diffusi in frequenza. Se la frequenza di modulazione è più elevata della cosiddetta «frequenza limite di fase» le sensazioni prodotte dalla modulazione di ampiezza e di frequenza con piccolo grado di modulazione sono metamere. La frequenza limite di fase, come risulta dalle ricerche di E. Zwicker (bibl. 18) dipende all'incirca nel seguente modo dalla frequenza media (frequenza portante) dell'oscillazione sinusoidale modulata:

Frequenza portante	60	250	1000	4000	8000	Hz
Frequenza limite di fase	30	40	80	400	1000	Hz

2. — Lo spettro FT di un fenomeno sinusoidale la cui frequenza vari rapidamente ma con continuità (glissando) non riproduce affatto fedelmente l'andamento della frequenza di oscillazione. Anche in questo caso si ha piuttosto una gamma di frequenza indistinta, rumorosa. Se si fa aumentare o diminuire la frequenza abbastanza rapidamente, si ottiene come risultato un crac. Lo stesso avviene quando dallo spettro FT del tono glissante si separa per filtraggio solo un intervallo ristretto di frequenze (al massimo di circa un'ottava). Se la gamma del filtro è bassa (per esempio da 75 a 150 Hz) un tono glissante in diminuzione suona come un colpo cupo.

3. — Se si taglia un pezzetto di nastro magnetico su cui sia stata registrata un'oscillazione sinusoidale e se ne incollano assieme i due estremi, si ha di regola un salto di fase in conseguenza del quale nel punto di giunzione lo spettro si allarga e produce una sensazione di rumore.

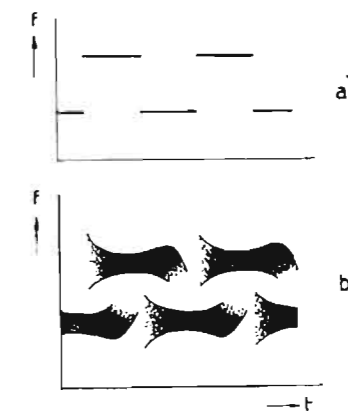



Fig. 5 Tono alternato (tremolo);
***a*) schema di produzione,**
***b*) spettro FT (semplificato).**

8. L'influenza dell'acustica dell'ambiente

Se le composizioni elettroniche non vengono ascoltate in cuffia ovvero in un ambiente completamente assorbente, si ha una *indeterminazione temporale supplementare* la cui misura dipende dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente in cui avviene la riproduzione. Così per esempio la riverberazione rende indeterminati tutti i passaggi repentini effettuati con intensità sonora (soggettiva) costante o in diminuzione, in misura tanto più grande quanto più elevato è il tempo di riverberazione.
Il mezzo adatto a spogliare una nota generata elettronicamente della sua rigidezza tecnica e mantenerla *diffusa* nella coordinata tempo, è lo smorzamento graduale naturale o artificiale. Finché si tratta di fenomeni che hanno una struttura timbrica oltre che dinamica, l'indeterminazione *temporale* produce una *indeterminazione di frequenza* e quindi una sensazione di rumore. Lo smorzamento può quindi anche servire a convertire note in rumori.

9. Compressione ed espansione di frequenza

Un metodo fra i più singolari per ottenere speciali effetti nella composizione elettronica con registrazione su nastro magnetico è quello che consiste nel diminuire o nell'aumentare la velocità del nastro. Se la velocità del nastro viene aumentata moltiplicandola per un fattore γ, tutte le frequenze aumentano nella stessa proporzione ([15]), mentre la durata del fenomeno sonoro registrato si riduce secondo il fattore $1/\gamma$. Se si diminuisce invece la velocità del nastro si ha l'effetto opposto.
Tuttavia lo spettro FT non varia affatto in maniera altrettanto semplice poiché l'intervallo di analisi dell'orecchio è invariante rispetto a tutte le trasformazioni di tempo e di frequenza. Ad una compressione o espansione di frequenza corrispondono variazioni di sensazione che vanno al di là dell'effetto di una pura e semplice trasposizione di frequenza o variazione di *tempo*, nel senso musicale di tali termini. Per esempio, l'aumento della velocità del nastro non fa soltanto aumentare il valore delle frequenze e diminuire la durata della composizione, ma produce anche una accentuazione più forte delle componenti di rumore e un aumento di fusione.
Perciò con un aumento della velocità del nastro si possono rendere stazionari processi non stazionari a carattere ritmico, cosicché essi producano sensazioni di rumore non più ritmicamente differenziate. Aumentando adeguatamente la velocità del nastro si possono, infine, convertire quasi tutti i fenomeni sonori in un rumore cinguettante. Inversamente, se si diminuisce la velocità del nastro, i toni, le note e i rumori stazionari si decompongono in fenomeni isolati non stazionari, poiché l'intervallo di analisi dell'orecchio non è sufficientemente grande per formare un valore medio indipendente dal tempo dei singoli avvenimenti.

10. Lo spettro nel mixaggio moltiplicativo

Un'ordinaria partitura contiene sempre sottinteso l'avvertimento: «Le voci segnate devono essere sovrapposte l'una all'altra; cioè devono essere unite assieme con pura e semplice addizione». Gli strumenti musicali acustici senza dubbio non consentono altra forma di associazione. Invece in una partitura «elettronica» si possono pretendere collegamenti arbitrari fra le voci registrate, purché attuabili con i mezzi della tecnica delle telecomunicazioni.
Se per esempio la prescrizione del compositore dice «mescolare *moltiplicativamente* la voce 3 con la voce 5», in essa è contenuto l'ordine per il tecnico dei suoni di combinare le due voci con un adatto procedimento di mixaggio moltiplicativo (per es.: con un modulatore ad anello).
L'effetto sonoro di questo mixaggio moltiplicativo non si può tuttavia dedurre immediatamente dalla partitura; si può ricavarlo soltanto attraverso lo spettro FT.
A questo punto vogliamo descrivere un procedimento grafico di facile maneggio pratico con cui è possibile senza alcun calcolo costruire un'immagine dello spettro di forme oscillatorie semplici mescolate moltiplicativamente (bibl. 6).
Si abbiano due oscillazioni sinusoidali stazionarie di 600 e 240 Hz, rispettivamente. Domanda: Quali sono le frequenze che si ottengono con la mescolanza moltiplicativa di queste due oscillazioni?
Cominciamo col segnare i valori di 600 e 240 Hz rispettivamente sulla scala f_1 (prima frequenza) e sulla scala f_2 (seconda frequenza) del nonogramma riprodotto in figura 6, ciascuno due volte, a sinistra e a destra, poiché le scale hanno graduazione simmetrica. Congiungiamo poi i quattro punti segnati con linee rette prolungate fino a intersecare la scala f_r (frequenza risultante).Su quest'ultima a scala leggiamo, come risultato, che le due frequenze originarie sono scomparse dando luogo a due frequenze nuove: 360 e 840 Hz. In verità a questo risultato si sarebbe arrivati con uguale facilità col calcolo; e cioè 840 Hz = 600 Hz + 240 Hz è la *frequenza somma*, 360 Hz = 600 Hz–240 Hz è la *frequenza differenza* delle due componenti. Il vantaggio del metodo grafico si rivela tuttavia quando entrano in gioco miscugli di toni o note. La figura 7 dà un esempio di mixaggio moltiplicativo di due miscugli di toni, ciascuno costituito da due componenti. Se si ha cura di tracciare tutte le possibili rette congiungenti è pressoché esclusa la eventualità di errori in cui invece facilmente si può incorrere col calcolo. Il mixaggio moltiplicativo di due note o di un tono puro con una nota fornisce, di regola, un miscuglio di toni difficilmente valutabile a prima vista. Si arriva tuttavia a suoni di notevole e straordinaria struttura spettrale scegliendo le frequenze fondamentali (prime armoniche) dei suoni da mescolare in rapporto *razionale*. Nella tabella allegata sono segnate le armoniche dell'oscillazione

risultante ottenute con i valori razionali più bassi (1:2, 1:3, 2:3, ecc.) dei rapporti di frequenza, nella ipotesi che una oscillazione sinusoidale di frequenza f_1 venga mescolata moltiplicativamente con una oscillazione di frequenza fondamentale f_2 accompagnata da tutte le sue armoniche, nessuna

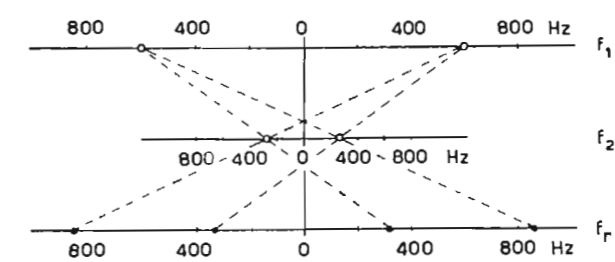



Fig. 6 Nomogramma per la determinazione delle frequenze risultanti dal mixaggio moltiplicativo di due toni.

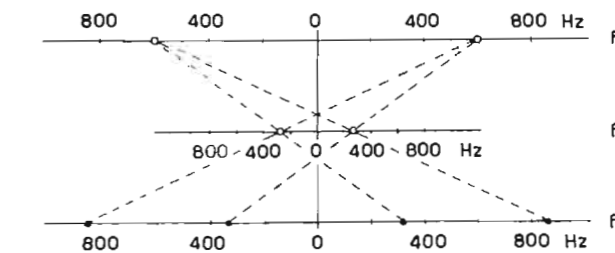



Fig. 7 Nomogramma del mixaggio moltiplicativo di due mescolanze di toni, ciascuna di due componenti.

esclusa. Il rapporto fra le frequenze $a = f_1/f_2$ deve essere, in base alla premessa, razionale cioè espresso da una frazione (ridotta ai minimi termini) $a = m/n$ (m ed n interi). La frequenza fondamentale dell'oscillazione risultante, cioè quella della sua periodicità e non la più bassa componente di Fourier, è allora uguale a f_1/m ovvero a f_2/n e si hanno soltanto armoniche di ordine:

$$h = [kn \pm m] \qquad (k = 1,2,3,4,...)$$

Fig. 8 Mixaggio moltiplicativo di una nota stazionaria con tono glissante: *a*) schema di produzione; *b*) spettro (semplificato).

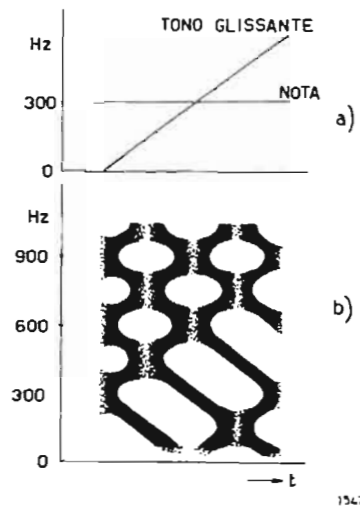



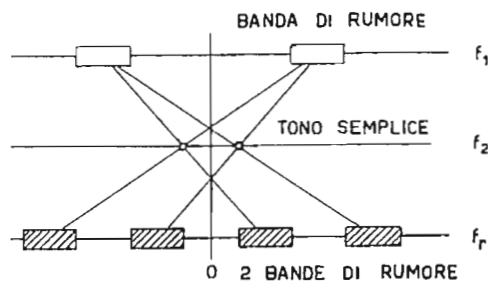
Fig. 9 Nomogramma del mixaggio moltiplicativo di rumori filtrati con un tono semplice.

Se la nota resta costante, per esempio con frequenza fondamentale di 300 Hz, mentre il tono percorre «glissando» tutte le frequenze partendo da 0, lo spettro FT del prodotto delle due oscillazioni mostra un tessuto di componenti che Si incrociano (fig. 8). Quanto più il «glissando» è rapido, tanto più il risultato si avvicina a un rumore.
Il mixaggio moltiplicativo di un tono semplice con un rumore filtrato si può valutare altrettanto facilmente mediante un nomogramma (fig. 9).
Basta segnare in modo del tutto schematico il rumore come una banda spettrale larga senza strutture interne. Dal mixaggio consegue un raddoppiamento del numero delle bande del rumore assieme ad una trasposizione di frequenza. Non si presentano difficoltà se la banda di rumore, per effetto della trasposizione, non si avvicina troppo all'origine delle frequenze o addirittura la supera, cioè fino a che la frequenza del tono non cade nell'intervallo di frequenze del rumore. Queste considerazioni semplificate non valgono più quando si ha una sovrapposizione delle bande di rumore.
Col mixaggio moltiplicativo del rumore con un tono scivolante, si ottiene un rumore scivolante (ululato) con due campi spettrali, uno dei quali può essere eliminato con un filtro.
Il mixaggio moltiplicativo di *due* bande di rumore conduce a risultati analoghi fino a che non interviene una sovrapposizione delle bande risultanti. Queste, tuttavia, anche se non si ha sovrapposizione, diventano più larghe delle bande di rumore originarie.

Tabella delle armoniche ottenute mixando moltiplicativamente un tono semplice con una nota

Rapporto di frequenza	Intervallo musicale (rispetto al tono semplice)		Compaiono soltanto le armoniche dei seguenti ordini														
	Frequenza del tono semplice minore di quella della fondamentale della nota																
1:2	Ottava	(in alto)	1		3		5		7		9		11		13		15
1:3	Duodecima	»		2		4	5		7	8		10	11		13	14	
2:3	Quinta	»	1			4	5		7	8		10	11		13	14	
1:4	Doppia ottava	»			3		5		7		9		11		13		15
3:4	Quarta	»	1				5		7		9		11		13		15
2:5	Decima	»			3				7	8				12	13		
3:5	Sesta maggiore	»		2					7	8	9			12	13		
4:5	Terza maggiore	»	1					6					11		13	14	
	Frequenza del tono semplice maggiore della frequenza fondamentale della nota																
2:1	Ottava	(in basso)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3:1	Duodecima	»	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3:2	Quinta	»	1		3		5		7	8	9		11		13		15
4:3	Quarta	»	1	2			5		7	8		10	11		13	14	

Appendice matematica

Per ottenere una rappresentazione concreta dell'analisi FT, immaginiamo che il fenomeno oscillatorio elettrico da analizzare $F(t)$ sia distribuito contemporaneamente su una serie di filtri di banda le cui bande passanti si sovrappongano un poco l'una all'altra.
La larghezza delle bande passanti sia costante e venga indicata con Δf; i punti di massimo passaggio dei singoli filtri, cioè le frequenze di analisi ad essi corrispondenti, siano $f_1, f_2, \ldots f_k \ldots$ ecc. La grandezza dell'intervallo di analisi è, secondo l'equazione [1], obbligatoriamente determinata dalla larghezza di banda del filtro. Se la tensione $F(t)$ viene applicata all'entrata del filtro che ha la frequenza di analisi f_k, essa subisce una trasformazione tale che nella tensione di uscita $E(t)$ sono contenute, sostanzialmente, solo frequenze vicine a f_k. Matematicamente questa trasformazione è descritta dall'integrale seguente:

$$[A\,1] \quad E_{fk}(t) = \int_{-\infty}^{t} F(\tau)\, H(t-\tau) \sin 2\pi f_k (t-p)\, d\pi,$$

dove la funzione H caratterizza indirettamente l'andamento della trasparenza del filtro e perciò la sua larghezza di banda e viene chiamata *funzione di sistema* del filtro. Per accordare la funzione di sistema con le caratteristiche misurate dell'orecchio si adotta per essa, opportunamente, una espressione esponenziale

$$[A\,2] \quad H(t-\pi) = \begin{cases} \Delta t \cdot e^{(t-\tau)/\Delta t} & \text{per } t > \tau \\ 0 & \text{per } t > \tau \end{cases} .$$

Come si è detto nel paragrafo 4, l'intervallo di analisi Δt ha la lunghezza di circa 25 ms. La funzione oscillatoria $E_{fk}(t)$ espressa dalla equazione [A 1] contiene come variabile il tempo t e come parametro la frequenza di analisi f_k. Se si immagina ora che il numero di filtri che ricoprono l'intervallo di udibilità aumenti indefinitamente e che, corrispondentemente, i filtri stessi si succedano sempre più fittamente l'uno all'altro, si avrà un filtro per una qualunque frequenza di analisi cosicché, al posto della tensione di uscita discreta, $E_{fk}(t)$ se ne otterrà una continua $E(f, t)$. Questo continuo è lo *spettro frequenza-tempo* del fenomeno $F(t)$. Pertanto generalizzeremo la [A 1] tenendo conto della [A 2] nella:

$$E(f, t) = \Delta t \int_{-\infty}^{t} F(\tau)\, e^{(t-\tau)/\Delta t} \cdot \sin 2\pi f (t-\tau)\, d\pi. =$$

$$[A\,3] \quad = \Delta t \cdot \sin 2\pi ft \int_{-\infty}^{t} F(\tau)\, e^{(t-\tau)/\Delta t} \cdot \cos 2\pi f\tau\, d\tau$$

$$\Delta t \cdot \cos 2\pi ft \int_{-\infty}^{t} F(\tau)\, e^{(t-\tau)/\Delta t} \cdot \sin 2\pi f\tau\, d\tau .$$

Se adottiamo per gli integrali del secondo membro le abbreviazioni:

$$[A\,4] \quad = f_c(f,t) = \int_{-\infty}^{t} F(\tau)\, e^{(t-\tau)/\Delta t} \cdot \cos 2\pi f\tau\, d\tau ,$$

e

$$[A\,5] \quad = f_s(f,t) = \int_{-\infty}^{t} F(\tau)\, e^{(t-\tau)/\Delta t} \cdot \sin 2\pi f\tau\, d\tau ,$$

la [A 3] si semplificherà nel modo seguente:

[A 6]
$$E(f, t) =$$
$$= \sqrt{f_c^2 (f, t) + f_s^2 (f, t)} \cdot \sin \left(2\pi ft - \arctan \frac{f_s (f, t)}{f_c (f, t)} \right) =$$
$$= f(f, t) \sin [2\pi ft - \psi (f, t)],$$

cioè lo *spettro FT completo* rappresenta, rispetto alla coordinata tempo, un'oscillazione modulata di ampiezza e di fase (bibl. 7). Se si mette in evidenza l'«oscillazione portante» la cui frequenza è quella di analisi, lo spettro FT si può rappresentare con una curva inviluppo complessa,:

[A 7]
$$f(f, t) = f(f, t)\, e^{i\psi(f, t)}.$$

Per i nostri scopi basta tener conto del suo modulo, cioè della funzione f(*f*, *t*), come si è fatto nelle figure da 2 a 5. Questa rappresentazione si può chiamare «*spettro FT semplificato*».

Note

(1) Din 1320.

(2) Nelle note esplicative è detto: «Le ordinarie definizioni, date nell'acustica, dei concetti di "Ton" e "Klang" differiscono notoriamente da quelle adoperate nella musica. Il musicista chiama "Ton" un "einfacher Klang" e "Klang" un "Klanggemisch" (per es. Dreiklang)».

(3) *Acoustical Terminology*, New York, 1951.

(4) Il termine «metamero» è stato coniato da W. Oswald per indicare i colori che appaiono uguali ma hanno spettri di emissione diversi.

(5) Il numero delle qualità di sensazione distinguibili in una prestazione simultanea è molto più piccolo di quelle distinguibili in prestazioni temporalmente successive.

(6) Nella psicologia questo intervallo finito di tempo viene chiamato «densità di presenza».

(7) Se le qualità di sensazione diverse di una prestazione «una tantum» rimangono mnesticamente disponibili, la ripetizione della prestazione può condurre ad una immagine più fine della struttura frequenziale-temporale.

(8) Pressappoco nel senso che due fenomeni che (per uguale intervallo di analisi) possiedano lo stesso spettro FT non possono essere distinti acusticamente l'uno dall'altro.

(9) È caratteristico l'esperimento seguente: si produca elettronicamente una vocale a due formanti, per esempio ö od e con l'aiuto di due filtri di formanti. Dopo un certo tempo la qualità vocale scompare e si sente soltanto una nota non individuabile. Se s'interrompe per breve tempo la nota e poi la si riattacca, si ripresenta di nuovo momentaneamente l'impressione della vocale. Se invece si stacca e attacca uno solo dei filtri di formante, l'impressione di vocale non si ottiene; la formante inclusa e esclusa si sente solo come una qualità isolata.

(10) Disconoscendo la realtà, si sono chiamate «soggettive» tutte le componenti sonore che non appaiono nell'analisi armonica. L'unica interpretazione ammissibile sarebbe stata invece quella di ritenere non adatto il procedimento di analisi adoperato.

(11) Un «tono puro breve» come sostiene G. A. Miller, è una contraddizione in termini. Un tono breve non può essere puro e un tono puro non può essere breve.

(12) Se si indicano con a_1 ed a_2 due ampiezze di oscillazioni che si succedono nella stessa direzione, si ha:
$\Lambda = \ln (a_1/a_2)$.
Ad una variazione continua di ampiezza di A dB/sec. corrisponde un decremento logaritmico:
$\Lambda = 0{,}115\ A/f$
(f frequenza dell'oscillazione).

(13) Gli intervalli musicali (terza, quarta, ottava, ecc.) rimangono conservati.

Bibliografia

1 - Bennett W. R.: *The correlatograph. A machine for continuous display of short term correlation*, «Bell Syst. Techn. J.», 32 (1953), 1173-1185.2 Gabor D.: *Problems of speech analysis*. U. R. S. I., Xth General Assambly Sydney 1952, Doc. N. 314, Comm. VI.

3 - Huggins W. H.: *A phase principle for complex-frequency analysis, and its implications in auditory theory*, «J. Acoust. Soc. Amer.», 24 (1952), 582-589.

4 - Imahori K.: *Analysis of varying sounds*, «J. Fac. Sci. Hokkaidô Imp. Univ.», Ser. II; 3 (1940), 57-90, 3 (1941), 103-126.

5 - Koenig W., K., H. Dunn, L. Y. Lacy: *The sound spectograph*, «J. Acoust. Soc. Amer.», 18 (1946), 19-49.

6 - Meyer-Eppler W.: *Ein Abtastverfahren zur Darstellung von Ausgleichsvorgängen und nichtlinearen Verzerrungen*, «A. E. Ü.», 2 (1948), 1-14.

7 - Id.: *Experimentelle Schwingungsanalyse*, «Erg. d. ex. Naturwiss», 23 (1950), 53-126.

8 - Id.: *Die Exhaustions-Schwingungsanalyse und ihre Beziehung zur Theorie des Hörens*, «Phys. Bl.», 7 (1951), 355-361.

9 - Michels W. C., H. Helson: *Man as a meter*, «Physics Today», 6 (Aug. 1953), 4-7.

10 - Pollack I.: *The information of elementary auditory displays*, «J. Acoust. Soc. Amer.», 24 (1952), 745-749.

11 - Ranke O. F., H. Lullies: *Gehör - Stimme - Sprache*, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1953 (Springer-Verlag).

12 - Sala O.: *Psycho-physische Konsequenzen elektro-akustischer Klangsynthesen*, «Frequenz», 5 (1951), 13-20.

13 - Schaeffer P.: *A la recherche d'une musique concrète*, Paris, 1952 (Éditions du Seuil).

14 - Schubert K.: *Ueber die Prüfung des Tonhöhenunter-scheidungsvermögens*, «Arch. Ohr- usw. Heilk. u. Z. Halsusw. Heilk», 159 (1951), 339-354.

15 - Skudrzyk E.: *Die Bedeutung der Ausgleichsvorgänge für Musik und Tonübertragung*, «E. u. M.», 67 (1950), H. 9 u. 10.

16 - Trendelenburg F.: *Einführung in die Akustik*. 2. Aufl. Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1950 (Springer-Verlag).

17 - Ward W. D.: *Information and absolute pitch*, «J. Acoust. Soc. Amer.», 25 (1953), 833.

18 - Zwicker E.: *Die Grenzen der Hörbarkeit der Amplitundenmodulation und der Frequenzmodulation eines Tones*. «Acustica», 2 (1952), AB 125-AB 133.

Problemi di regia radiofonica

Dott. **Alberto Mantelli**
della Rai

1. La Radio

Da quando la Radio mutò la sua acerba e transitoria fisionomia di meraviglioso giocattolo in quella, rapidamente affermatasi, di uno tra i fenomeni protagonisti della vita contemporanea, titolato a situarsi nel mondo moderno con l'imperio della sua massiccia e invadente presenza su un piano non meno vistoso di quello del giornale e del cinema, da quel momento si è preso a osservare con sempre maggiore attenzione la sua natura di strumento di comunicazione e di espressione limitato rigorosamente a valersi di soli mezzi auditivi. Aveva ed ha tuttora dell'abnorme e del paradossale questo strumento che versa ininterrottamente nell'etere fiumi di parole e di suoni a cui milioni di uomini attingono affidandosi, come folla innumerevole di ciechi, al solo senso dell'udito; qual si voglia possa essere il messaggio che si riceve: una notizia, una conferenza, una radiocronaca, una vicenda drammatica o comica, i lazzi di un autore di varietà e una musica infine (sola quest'ultima, di quanto ospita la Radio, atta per sua natura a penetrare in noi esclusivamente attraverso il nostro orecchio). Ciò non ostante ben sappiamo quanto fulmineo sia stato l'acclimatarsi dell'umanità contemporanea a quell'orecchio sul mondo che è la docile cassetta della radio, che non fu evento da poco; se si pensa quanto oggi giunga alla coscienza e allo spirito dell'uomo, attraverso questo strumento, che prima giungeva per il tramite di una percezione sensoriale infinitamente più ampia e meno esclusivistica e che si fondava, come minimo, sul reciproco integrarsi della vista e dell'udito. Non occorre dire che se gli uomini erano stati pronti ad adeguare le proprie capacità percettive all'inusitata e forzata limitatezza del nuovo mezzo di comunicazione, altrettanto pronti si vennero via via dimostrando coloro che questo mezzo gestivano, nel senso di rendersi sempre più coscienti dell'imperativo acustico che condizionava in modo rigoroso sia la percezione come la redazione e l'invio di un qualsiasi prodotto radiofonico, dal più elementare al più complesso.

Come nella realtà quotidiana della pratica radiofonica (di coloro che *confezionano* i programmi negli studi e di coloro che li *consumano* ascoltandoli) così per chi si accinge ad osservare la Radio quale strumento di comunicazione e di espressione, il dato di fatto essenziale e a tutti i fini determinante è rappresentato dal valore esclusivamente auditivo in cui si concreta il prodotto radiofonico. Questa realtà fisica cui la Radio è costretta e che ne condiziona i prodotti (i quali devono di necessità strutturarsi come associazioni più o meno complesse di valori acustici: parole, suoni, rumori), ha fatto sorgere il problema relativo ai limiti e alle prerogative del mezzo radiofonico. Il problema cioè se tali limiti e tali prerogative sussistano o meno e, nel primo caso, come si concretino.

Bisogna distinguere nei suoi due aspetti il fenomeno radiofonico, cioè: la Radio *come mezzo di comunicazione* e la Radio *come mezzo di espressione*. La Radio *come mezzo di comunicazione* esercita un puro e semplice trasferimento a distanza di un qualcosa che potrebbe essere comunicato altrimenti; una notizia (giornale o rivista); una conversazione (giornale, rivista, libro e, in certo senso, anche conferenza, lezione); una musica (concerto, disco). In questi casi l'alternativa che offre la Radio non comporta una variazione sostanziale, una decisiva diminuzione dell'effetto pratico o estetico rispetto a quello proprio del mezzo cui la Radio si è sostituita (giornale, rivista, libro, sala da concerto). In qualche caso la Radio dovrà tener conto — come d'altronde fa normalmente chi parli da una cattedra o da un tavolo di conferenze — che l'impossibilità di arrestarsi e di tornare indietro, come può fare chi legga, consiglia colui che parla a strutturare semplicemente il proprio linguaggio. Quanto all'opera in musica, la trasmissione radiofonica sopprime al cento per cento quanto dell'opera è spettacolo che si attua sul palcoscenico attraverso la mediazione di attori-cantanti e con l'ausilio di scene, costumi e luci. La difficoltà, per non dire l'impossibilità, di intervenire su di una struttura come è quella musicale (assai meno docile di quella verbale) da un lato e il fatto dall'altro della fondamentale presa emotiva esercitata dalla musica, ha legittimato la consuetudine di diffondere l'opera in musica alla stessa stregua di una musica da concerto. Il radioascoltatore accetta che la Radio diffonda, cioè comunichi, l'opera (ripresa da un teatro o eseguita in studio) così come egli potrebbe ascoltarla, con gli occhi bendati, nella sua vera ed autentica sede, cioè il teatro.

La Radio *come mezzo di espressione* offre all'artista uno strumento atto a «produrre stimoli di riproduzione estetica» — secondo le letterali parole di Croce; o, in altri termini, atto a consentirgli di estrinsecare i propri stati d'animo in un oggetto estetico e pertanto a renderli comunicabili. Essa è dunque un mezzo fisico, e come tale sottoposta a determinate obbligazioni. In questo senso va del pari inteso il mezzo radiofonico allorché ci si vale di esso per diffondere opere drammatiche la cui originaria destinazione è il palcoscenico. Qui non è più indifferente — come nel caso di una musica sinfonica — che l'ascoltatore si trovi nella sala da concerto di fronte all'orchestra o a casa propria di fronte al radioricevitore; e non può dunque sussistere il semplice fatto della comunicazione a distanza. La destinazione teatrale (quanto meno in linea di principio e nella pluralità dei casi) implica lo spettacolo, cioè l'associazione di determinati valori visivi ai valori auditivi della recitazione che pur restano fondamentali. E allora subentra la necessità di una elaborazione del testo originario per trasferirlo dalla dimensione acustico-visiva del teatro a quella esclusivamente acustica della Radio. Qui si tocca — e lo sfioriamo per incidenza — il delicato problema estetico della legittimità (dell'intervento di chi procede all'adattamento radiofonico. È indubbio che si esercita una violazione, perché l'opera d'arte è quella che è, e qualsiasi intervento costituisce una manomissione della sua integrità. D'altra parte l'opera di teatro — per essere destinata al palcoscenico e cioè alla mediazione degli attori guidati da una volontà unificatrice e direttrice — al di là della parola scritta (ma persino entro la possibile variazione di accenti emotivi della stessa parola scritta) è, più di ogni altra opera d'arte, esposta ad inevitabili processi di deformazione. Fuori dal libro e dalla rigorosa lettura del medesimo, l'opera teatrale è destinata ad un'esistenza avventurosa; ma è anche vero che al di sopra di un certo livello di potenza espressiva, essa ha delle risorse di autodifesa che ne salvano le fondamentali strutture poetiche nonostante certi massicci e arbitrari interventi registici.

Torniamo al primo caso, della Radio intesa

come mezzo di comunicazione a distanza. La musica si manifesta ed esiste, all'atto dell'esecuzione, nella pura dimensione auditiva (anche se, per chi sappia farlo, si possa conoscerla e sentirsela risuonare nella mente mediante la semplice lettura silenziosa). La trasmissione radiofonica non toglie pertanto né aggiunge alcunché all'ascolto diretto in presenza dello strumento o degli strumenti che la eseguono; e appartiene a un altro ordine di problemi il fatto che l'attuale sistema di presa microfonica fornisca al radio-ascoltatore un risultato acustico variamente deformato, rispetto all'ascolto diretto, e comunque di tipo monoauricolare (che consente cioè di valutare la distanza delle varie sorgenti sonore, ma non la loro localizzazione nello spazio tridimensionale in cui sono rispettivamente situate).

Una conversazione, se concepita con la tecnica espositiva del discorso a viva voce (conferenza, lezione) e non con quella, invece, della stesura destinata alla stampa e solo subordinatamente usata per una lettura pubblica, si manifesta ed esiste nella più autentica essenza, al pari della musica, nella pura dimensione auditiva. Varrà il principio che colui che parla dovrà rettificare l'intonazione del suo discorso; nel senso che — se pur immutate le parole — egli non si rivolge più ad una folla riunita in una sala o in un teatro, ma a migliaia di singoli isolati di fronte al loro radioricevitore. In altri termini si può dire che il mezzo di comunicazione (parola parlata) rimane identico, mentre muta (o può mutare, o dovrebbe mutare) il modo di impiego di tale mezzo. Non occorre sottolineare che tutto ciò vale in quanto non si esorbiti dalla pura dimensione auditiva: un discorso che si basi su dimostrazioni visive (proiezioni di immagini, uso di lavagna) non può trovar posto alla Radio. Si tratta di un limite oggettivo di cui non resta che prendere atto.

Limiti di natura similare si osservano in tutte le manifestazioni radiofoniche a carattere giornalistico: dai vari generi di notiziari, alle corrispondenze, alle interviste, alle radiocronache, ai documentari, alle inchieste. Ma qui, per vero, parlar di limiti e, oppostamente, di prerogative finisce in vario modo di diventare improprio o addirittura assurdo. Tra le molte attività che caratterizzano l'insieme della produzione radiodiffusa, quella giornalistica ha, più e meglio di ogni altra, trovato la sua forma radiofonica. E la sua forma l'ha trovata, perfettamente adeguandosi alla condizione fisica della radio, alla sua natura di mezzo fondato sullo sfruttamento esclusivo di puri valori auditivi. Un buon servizio radiofonico non potrà farci dire che è mùtilo rispetto a quello di un settimanale a rotocalco che esibisca una serie di splendide fotografie. Si potrà preferire il giornalismo stampato a quello affidato ai microfoni, ma non si potrà affermare che un pezzo radiofonico è incompleto perché mancante di un certo numero di immagini di appoggio. Beninteso sempre che il *pezzo* non sia redatto con la mentalità di chi vorrebbe scattare delle fotografie e magari si sforza di darne degli insufficienti surrogati verbali, ma con la coscienza di chi dispone di uno strumento, il microfono, che è in grado di dare del mondo e degli uomini immagini non meno efficaci ed incisive. E allora non sarà l'ennesima versione del volto incantevole e del prezioso abito della celebre diva del cinema; ma, dalla sua viva voce, altri dati caratteristici che potranno comporre della celebre diva un'immagine altrettanto vivace e interessante, se non più completa ed umana.

Nell'altro caso, della Radio intesa come mezzo di espressione, parlar di limiti e di prerogative sembra improprio allo stesso modo e più ancora di quel che è a proposito del giornalismo radiofonico. Si tratta di un giudizio di relazione: è un *più* o un *meno* che si attribuisce a un mezzo di espressione (Radio) facendo implicitamente riferimento a un altro mezzo di espressione (Teatro, Cinema). Ora, simile giudizio di relazione è assolutamente illegittimo nei confronti del mezzo scelto dall'artista per concretare la sua ideazione interiore in una entità oggettiva, e pertanto tale per cui, chi voglia, possa conoscerla e trarne un'emozione estetica. L'opera d'arte — sia essa di grande come di modesto respiro creativo — non può implicare, per la sua stessa natura e in quanto fatto estetico, altro giudizio che non sia qualitativo; perché il giudizio quantitativo si riferisce a valori estranei all'arte.

Il parlare di limiti e di prerogative a proposito della Radio non ha pertanto alcun senso, se ci riferiamo alla Radio come mezzo di espressione artistica; a parte il fatto che dir *Radio* è enunciare un'astrazione, perché si dovrebbe riferirci a questa o a quell'opera d'arte radiofonica. Se si considera una determinata opera radiofonica e la si vuol riferire ad una determinata opera teatrale e quindi instaurare un rapporto fra la prima e la seconda, si potrà al massimo dire che l'una è più bella dell'altra. Proseguendo tuttavia nel giudizio estetico diverrebbe illegittimo affermare che l'opera radiofonica, in quanto si attua nella pura dimensione auditiva, ha possibilità espressive minori ovvero maggiori di quelle di cui fruisce l'opera teatrale, in quanto si attua nella dimensione auditiva e insieme nella dimensione visiva.

È indubitato che chi disponga, come strumento, di un palcoscenico o di una pellicola cinematografica sonora è in grado di comunicare allo spettatore una maggior *quantità di informazione* di quanto sia in grado quegli che disponga di uno o più microfoni: e in questo senso la dimensione auditiva propria della Radio rappresenta una limitazione. Inversamente, la possibilità di parlare a bassa voce in un microfono e di essere ascoltati da una folla di singole persone nel chiuso delle loro case consentirà dei modi e dei contenuti di discorso (consigli psicologici, risposte a lettere e via dicendo) impensabili in un teatro o in cinematografo: e in questo senso la Radio gode di certe prerogative nei confronti del Teatro e del Cinema.

Il problema pertanto dei limiti e delle prerogative, cioè delle minori o maggiori possibilità della Radio in rapporto agli altri mezzi di cui l'uomo dispone per comunicare alcunché ad altri, non può essere posto quando si consideri la Radio come un mezzo di espressione artistica. O più propriamente: quando si consideri una determinata opera d'arte composta al fine esclusivo di essere comunicata per mezzo della Radio, ovvero una determinata opera che sia l'adattamento radiofonico di un'opera teatrale o narrativa preesistente. È un problema che non esiste e che dunque non ci si deve porre. Così come nessuno pensa di porsi il problema se un disegno rappresenti un'espressione limitata nei confronti di una pittura; a meno che non si consideri quel certo disegno e quel certo dipinto non come opere d'arte, ma come documenti informativi; e allora è indubbio che il dipinto ci fornirà una quantità maggiore di informazione pratica: se le mele erano rosse o verdi, se la tovaglia era azzurra o bianca e via dicendo.

Né vale invocare il fatto che la trasmissione radiofonica suscita nella psiche dell'ascoltatore un insorgere di immagini di un ordine diverso da quello auditivo, per trarne l'illazione che simile fenomeno si configura come un'attività diretta a integrare un messaggio insufficientemente definito. Soffermiamoci un istante a considerare il comportamento del radioascoltatore, in quanto soggetto di un'esperienza sensoria totale, di fronte a un messaggio affidato alla pura dimensione auditiva.

Nei confronti di un'opera drammatica, ori-

ginale o adattata, diffusa dalla Radio questi è sollecitato da un complesso di valori auditivi che delineano i caratteri di alcuni personaggi i quali vivono una determinata vicenda, ne soffrono o ne gioiscono, composti entro quella coerenza di sentimenti che costituisce il valore estetico dell'opera e che fa sì che — grande o piccola — essa sia opera d'arte. L'ascoltatore che ha aperto l'apparecchio radioricevente con l'intendimento di ascoltare quella certa commedia, di rendersi conto via via della rete di nessi inventata dall'autore e di trarne un'emozione estetica, è tenuto ad effettuare un ascolto attento, controllato, e tanto più controllato quanto più solida è la sua cultura, ovvero istintivo ed affidato alla sua naturale sensibilità umana.

Lo scrittore che compone un'opera per la Radio, o trascrive per la Radio una composizione narrativa o teatrale, nell'atto stesso di decidersi, accetta la condizione fisica che il mezzo radiofonico impone, e logicamente è tenuto a valersi nel modo più efficace, ai fini dell'espressione estetica, di quel complesso di valori puramente auditivi che sono propri della Radio.

La Radio pertanto, caratterizzata com'è dalla sua struttura fisica, offre all'artista un mezzo espressivo che giunge al nostro spirito esclusivamente attraverso il senso dell'udito, allo stesso modo come le opere d'arte figurativa ci penetrano e ci commuovono attraverso il senso della vista. Ma nell'uno come nell'altro caso i veicoli fisici e fisiologici non sono che il tramite necessario per virtù del quale l'intuizione dell'artista diviene concreto fatto estetico ed è comunicabile. All'uno e all'altro capo del processo comunicativo artistico—si determini esso nelle linee e nei colori di un dipinto, nei suoni che escono da un pianoforte, nelle parole, nei suoni e nei rumori che escono da un altoparlante — sussistono due esperienze umane fisicamente e spiritualmente totali di colui che crea l'opera d'arte e di colui che la contempla e dentro di sé la ricrea.

Ne consegue il modo di atteggiarsi dell'immaginazione riproduttrice di quegli che si accinge a, contemplare e a rivivere entro il proprio spirito un'opera d'arte, nel caso nostro un'opera radiofonica. Se le sollecitazioni fisiche sono esclusivamente di ordine auditivo ciò non pertanto nella coscienza dell'ascoltatore potranno generarsi immagini appartenenti ad un altro ordine; nel caso più ovvio — e sufficiente all'indagine — di un ordine visivo. Questa produzione di immagini visive non rappresenta tuttavia l'integrazione di una pretesa e inesistente insufficienza del messaggio radiofonico, che è esclusivamente auditivo; ma è la naturale e inevitabile condizione dell'atto di rivivere l'opera d'arte. Il quale atto non può darsi se dalla specifica e determinata fisicità dell'opera (quale essa sia: sonora, verbale, coloristica, spaziale e via dicendo) non si risale all'emozione generatrice dell'artista, che riflette la totalità delle sue esperienze sensorie; ed esse sono — essenzialmente e nel caso speciale — visive e acustiche, comunque possa poi concretarsi e divenir comunicabile l'opera.

Non si può dunque parlare di una insufficienza rappresentativa del linguaggio radiofonico, di una sua limitazione costituita dal suo collocarsi esclusivamente e rigorosamente entro la pura dimensione auditiva; e di conseguenza attribuire al radioascoltatore un'attività produttrice di immagini sussidiarie che diano compiutezza ad un messaggio incompiuto perché impotente a valersi di dati visivi oltreché dei soli dati auditivi, che gli son propri. E si osservi dove inevitabilmente si vada a finire quando si ammetta che il radioascoltatore possa o debba integrare con la propria immaginazione il messaggio radiofonico che si afferma a priori poter esser incompleto e mùtilo e lacunoso: si arriva niente di meno che al non senso estetico che il radioascoltatore possa essere, in misura variabile, un collaboratore dell'artista. Che è la conclusione — a mio avviso inaccettabile — cui giungeva Enrico Rocca: «È incoercibile, oltre che lecitissimo, immaginar l'ambiente suggerito da uno sfondo acustico, dare a una voce il volto che non ha, integrare, a seconda della propria immaginazione e intelligenza, il quadro che l'artista radiofonico lascia forzatamente o volutamente incompiuto. Quando la televisione sopprimerà l'integratore, dando a chi ascolta concretamente tutto o quasi tutto, sparirà una forma di collaborazione tra creatore e pubblico di cui la Radio in quanto arte offre un eccezionale ed auspicabilissimo esempio» (Enrico Rocca, *Panorama dell'arte radiofonica*, Milano, 1938, pag. 19). Mentre in senso nettamente opposto si esprimeva, poco prima, l'Arnheim: «L'artista radiofonico deve spiegare la propria capacità limitandosi a quel mondo che ci giunge attraverso l'orecchio. Se egli riesce così a darci un'opera compiuta, questa testimonierà dal suo ingegno; ma se la trasmissione è tale da indurre l'ascoltatore ad aggiungere colori e forme all'immagine incompleta, allora vuol dire che l'opera è mancata perché non le sono bastati i propri mezzi, ed avremo dinanzi un frammento» (Rudolf Arnheim, *La Radio cerca la sua forma*, Milano, 1937, pag. 121).

Fin qui abbiamo fatto il caso di un ascolto radiofonico avente una esplicita qualificazione estetica; quell'ascolto cioè che significa lo svolgimento di un'attività spirituale della stessa natura di quella esplicata da chi si rechi a teatro per assistere all'esecuzione di una commedia o di un'opera in musica, di un concerto, o da chi semplicemente contempli un'opera figurativa o legga un romanzo o un poema. Un'attività spirituale che consente a chi la esplichi di conoscere un'opera d'arte, di apprezzarne i valori di bellezza — o quanto meno di ingegnosità — e di riceverne, lieve o intensa, una commozione estetica.

L'opera d'arte, in quanto espressione umana storicamente determinata, è però anche un documento di costume, di eticità, di tecnica e via dicendo; essa pertanto può essere osservata sotto altre angolazioni che non quella della conoscenza estetica. Va da sé che, ai fini della presente indagine, questi modi di situarsi di fronte all'opera d'arte non ci interessano.

Interessa invece considerar di sfuggita quel modo di reagire, variamente meno controllato, del radioascoltatore, che entra nel campo di osservazione e di studio dello psicologo. L'immagine radiofonica — sia pure in misura maggiore — come ogni altra immagine artistica può scatenare un processo anteriore di creazione di immagini complementari che sono in stretta connessione con la struttura psicologica di ciascun soggetto, con la sua personale esperienza. Se questo fenomeno è incontestabile, è tuttavia altrettanto vero che un ascoltatore minimamente provveduto non solo non si abbandona volontariamente a questa germinazione di immagini parassite, ma resiste al suo prodursi. Il fenomeno della «costruzione immaginativa» nella radioaudizione è stato con molta acutezza studiato in un recente libro (Salvatore Gallo, *Psicologia della Radio e della TV*, Firenze, 1955). Non mi sentirei tuttavia di sottoscrivere una conclusione come questa: «Nell'audizione radiofonica l'attività personale è sollecitata e richiesta da *un complesso* (persone, luoghi, ecc.) da integrare e *un seguito di situazioni multiple* da concretare, anzi da creare nel loro insieme, con l'ausilio e la guida della sola stimolazione auditiva. L'intervento personale dunque è postulato necessariamente ed è dato assai volontariamente. Anzi si può dire che quel che forma il fascino della Radio è appunto questa creazione personale, fatta di immagini, di emozioni, di fattori mnemonici individuali » (pag. 55). Se così fosse, inve-

ro, si negherebbe implicitamente la possibilità per la Radio di farsi tramite di espressione artistica, di comunicare cioè opere d'arte la cui consistenza sarebbe fantomatica e delle quali l'autore non avrebbe che una frazione di responsabilità, posto che l'altra frazione e sempre diversa spetterebbe, a titolo di personale e decisivo apporto, ai radioascoltatori. Ciò non toglie che vi siano dei radioascoltatori — e anche molti — i quali traggono diletto dal far galoppare la loro immaginazione; ma simile atteggiamento non riguarda un'analisi dell'ascolto radiofonico come attività estetica.

Sulla scorta di quanto si è venuto fin qui dicendo penso che possa esser tenuto fermo, come dato fondamentale, che l'opera d'arte radiofonica — originariamente composta ovvero adattata per il microfono da un'opera narrativa o teatrale — trova in se stessa, e cioè nella pura dimensione auditiva per cui è concepita, tutte le condizioni necessarie per la sua piena e totale comunicabilità. Se è vero infatti che la quantità di informazione contenuta in un'opera radiofonica (puri valori auditivi) è minore di quella contenuta in un'opera teatrale (valori auditivi e valori visivi), è vero per contro che simile giudizio comparativo non può essere instaurato in quanto si considerino tali opere come espressioni artistiche.

Ogni opera d'arte costituisce un organismo autosufficiente, un complesso di valori in equilibrio che rappresentano l'oggetto fisico nel quale l'artista ha reso concreta e pertanto comunicabile ad altri la propria intuizione. Quale che possa essere l'oggetto fisico (novella, romanzo, commedia teatrale, commedia radiofonica) scelto dallo scrittore per fissare la propria intuizione, tale oggetto non può esser ritenuto mùtilo o incompleto o limitato, e dunque non sufficiente e bisognoso di interventi integrativi da parte del lettore o spettatore o radioascoltatore.

L'artista, invero, non è un microfono che, collocato in un salotto, riproduce meccanicamente le parole, le risa e i rumori che vi si producono, e pertanto di quel salotto ci fornisce un'informazione incompleta, frammentaria e tale da renderci spesso incomprensibili le stesse parole e le risa e i rumori perché non accompagnati e integrati e giustificati da cenni e gesti e atteggiamenti dei volti. Il microfono riproduce un frammento della realtà di un ricevimento in un salotto, l'aspetto acustico, l'artista invece compone in puri valori auditivi una realtà che egli ha colto nella sua interezza. Si tratta, insomma, di non confondere l'atto spirituale creativo dell'artista con la produzione di una serie di correnti elettroacustiche.

2. Lo spazio acustico radiofonico

La tecnica registica — nel senso, da più di mezzo secolo precisatoci, di coordinamento e di direzione di uno spettacolo — applicata a predisporre la messa in onda di una radiotrasmissione, trova la sua ragion d'essere e il suo legittimo presupposto nel dato di fatto fondamentale che l'opera d'arte radiofonica esiste esclusivamente entro la pura dimensione auditiva e che, pertanto, nei confini di tale condizione fisica, essa è un organismo estetico autosufficiente. Ne consegue che la totalità dei valori componenti l'opera radiofonica deve essere espressa — e dunque comunicata all'ascoltatore — valendosi di quel mezzo che è la Radio la quale è fatta di pure sollecitazioni auditive. Poiché l'esperienza dei nostri sensi tende a non farci prescindere da quel complesso di dati visivi che compongono l'immagine teatrale o quella cinematografica, si può parlare della necessità per il regista radiofonico di uno sforzo incessante di ridimensionamento degli elementi della rappresentazione entro lo spazio auditivo in cui devono essere contenuti.

Si consideri, oltretutto, che se il Teatro vive in una convenzione e di una convenzione, la Radio appare serrata entro la morsa di una convenzione assai più rigorosa, ove l'uno e l'altra siano riferiti alla totalità della nostra esperienza sensibile. Il palcoscenico infatti è uno spazio irreale dove l'attore agisce per comporre, con la parola e l'atteggiamento del volto e della persona, la finzione creata dall'autore, cioè per dar vita ad un mondo di sentimenti e di passioni che appunto per costituire una realtà poetica teatrale non può avverarsi altrimenti che entro quel luogo convenzionale e irreale che è il teatro. Lo studio radiofonico invece è uno spazio irreale dove gli attori non sono che voci, senza volto e senza gesti, ma chiamati — come sul palcoscenico — a comporre ed esprimere la realtà poetica dell'opera che recitano. La concretezza fisica entro la quale si oggettiva e diviene comunicabile un complesso di immagini radiofoniche è rappresentata dunque dall'organizzarsi ordinato e coerente di un insieme di valori auditivi. Il regista radiofonico è il maestro e il coordinatore di questi valori auditivi, è quegli che colloca entro lo spazio sonoro, secondo i significati che il poeta loro attribuisce, gli elementi di cui l'opera è composta: parole, suoni, rumori.

I problemi tecnici — e implicitamente artistici — della regia radiofonica, così come quelli della stesura di un testo destinato alla radiorappresentazione, si fondano su un presupposto che è di importanza essenziale. Esso consiste in ciò, che la dimensione auditiva entro la quale la Radio si colloca non può essere considerata simile a quella di chi si sforzi di conoscere il mondo a lui circostante con l'ausilio esclusivo delle percezioni acustiche. Il che deriva dal fatto che l'ascolto microfonico è diverso dall'ascolto biauricolare di un soggetto dotato di un organo uditivo fisiologicamente normale. È implicito — e non occorrerebbe forse neanche sottolinearlo — che le constatazioni che ora veniamo facendo non hanno niente a che fare col problema precedentemente discusso della presunta limitatezza dell'espressione radiofonica in quanto affidata esclusivamente alla percezione auditiva. Qui ci si riferisce alle caratteristiche e alle particolarità dell'informazione psico-fisiologica di un fenomeno sonoro quale ce la fornisce l'ascolto diretto, rapportate a quelle dell'informazione acustica dello stesso fenomeno sonoro quale ce la fornisce il microfono nel suo automatismo elettroacustico. Ci si riferisce, in altre parole, ai due processi seguenti: *a*) sorgenti sonore — ascolto biauricolare diretto; *b*) sorgenti sonore — microfono — riproduzione esatta delle sollecitazioni fisicoacustiche esercitate sul microfono dalle sorgenti sonore.

Ai termini dei due processi indicati, ascolto diretto e ascolto microfonico, si concre-

tano due ordini di percezioni le quali forniscono ai due ascoltatori (diretto e microfonico) dei dati acustici atti a informarli intorno agli eventi sonori che si verificano nello spazio esplorato direttamente dall'orecchio e in quello esplorato dal microfono. Sulla scorta di questi due tipi di informazioni, l'ascoltatore diretto e un ipotetico ascoltatore microfonico si creano le nozioni atte a individuare rispettivamente l'uno e l'altro spazio. Che chiameremo: l'uno *soggettivo* e l'altro *microfonico*.

Lo *spazio acustico soggettivo* è determinato dall'insieme dei valori e dei rapporti sonori captati dall'apparato uditivo e selezionati in sede cerebrale. Questo processo produce l'*informazione psico-fisiologica dei fenomeni sonori*.

Lo *spazio acustico microfonico* è determinato dall'insieme dei valori e dei rapporti sonori captati dal microfono. Questo processo produce l'*informazione fisico-acustica dei fenomeni sonori*.

I due tipi indicati di informazione non coincidono, per essere quantitativamente e qualitativamente diversi. Il microfono infatti capta, e pertanto comunica, non soltanto una minor quantità di informazione, ma anche una diversa qualità di informazione nei confronti della quantità e della qualità percepite dall'uomo sottoposto alle sollecitazioni acustiche del mondo circostante.

Per ciò che concerne la differenza quantitativa si può osservare quanto segue. Nello *spazio acustico soggettivo*, attraverso l'ascolto biauricolare l'uomo riesce a individuare la distanza della sorgente sonora e la direzione di provenienza della stessa nello spazio.

Lo *spazio acustico soggettivo* si può definire pertanto uno spazio a tre dimensioni. Nello *spazio acustico microfonico*, attraverso l'ascolto microfonico, l'ascoltatore riesce a individuare la distanza della sorgente sonora, *ma non* la direzione di provenienza della stessa. Lo *spazio acustico microfonico* si può definire pertanto uno spazio a una dimensione. In questo senso è lecito dire che il microfono capta, e pertanto trasmette, una quantità di informazione minore di quella che percepisce l'uomo sottoposto alla sollecitazione acustica diretta proveniente da una sorgente sonora. Di due dati, distanza e direzione, esso non ne fornisce che uno: la distanza.

Per ciò che concerne invece la differenza qualitativa si può osservare quanto segue. Nello *spazio acustico soggettivo*, attraverso l'ascolto biauricolare e in virtù della facoltà di eliminazione psico-fisiologica di sorgenti sonore estranee all'interesse soggettivo preminente, l'uomo è in grado di realizzare un ascolto selezionato o, come è stato definito, un ascolto intelligente.

Per esempio: *a*) siano dati, in un locale di abitazione, due interlocutori situati a distanza normale di conversazione. Essi avvertiranno esclusivamente i suoni provenienti direttamente dal rispettivo interlocutore; *b*) siano dati, in un locale affollato, due interlocutori che conversano. Essi sentiranno in modo preminente le rispettive voci, senza avvertire i discorsi delle persone circostanti, non solo ma quasi senza avvertire lo stesso rumore della folla che conversa ad alta voce.

Nello *spazio acustico microfonico* il microfono capta *tutti* i suoni che, con intensità variabile, lo sollecitano e, così come li ha captati, li immette nella catena elettroacustica radiofonica e li trasmette al radioascoltatore. Nel caso *a*) il microfono, situato fra i due interlocutori, capterà i suoni diretti provenienti da essi, ma accompagnati dai suoni riverberati dalle pareti del locale; cioè un valore qualitativo acustico diverso. Nel caso *b*) il microfono, situato fra i due interlocutori, capterà le loro voci, ma sopraffatte dalle voci e dai rumori della folla, cioè anche qui un valore qualitativo acustico diverso. In questo senso è lecito dire che il microfono capta, e pertanto trasmette, una qualità di informazione diversa da quella che percepisce l'uomo sottoposto a identica sollecitazione acustica diretta. Esiste anche una quantità di informazione maggiore, ma è preminente la diversa qualità.

A seguito di quanto or ora esposto si può concludere che lo *spazio microfonico* non coincide con lo *spazio soggettivo*, nel senso che i dati dell'ascolto microfonico non corrispondono a quelli della nostra esperienza diretta. E allora, relativamente alla realtà acustica, quale ci è fornita dal nostro meccanismo di ascolto, lo spazio acustico rivelato dal microfono si configura come una astrazione. Si configura cioè come uno spazio entro il quale gli eventi acustici si verificano secondo leggi diverse da quelle che presiedono al nostro ascolto diretto.

Primaria funzione del radioregista è di risolvere e superare questa contraddizione intervenendo sull'informazione fisico-acustica quale obbiettivamente fornirebbe il microfono. Si determina così una nuova dimensione acustica che non è né quella soggettiva dell'ascolto diretto né quella astratta dell'obiettività microfonica. È la dimensione che risulta dall'inserirsi della volontà discernente ed operante del radioregista medesimo entro il processo che addietro indicavo come proprio dell'informazione microfonica pura: *sorgenti sonore - microfono - riproduzione esatta delle sollecitazioni fisico-acustiche esercitate sul microfono dalle sorgenti sonore*. L'intervento registico ha luogo tra il primo e il secondo e tra il secondo e il terzo termine del processo. Questo si modifica allora nel seguente modo: *sorgenti sonore - regista - microfono - regista - trasmissione - radioascoltatore*. Il processo strettamente microfonico viene dunque alterato da un primo diaframma che determina quali sorgenti sonore e quanto di esse debba essere affidato al microfono, e da un secondo diaframma che determina quali eventuali ritocchi debbano essere apportati e quali eventuali elementi nuovi inseriti all'uscita del microfono prima dell'avvio definitivo della modulazione.

Si stabilisce così una dimensione acustica convenzionale che chiameremo spazio acustico radiofonico. Esso è determinato dall'insieme dei valori e dei rapporti sonori predisposti dal regista e captati dal microfono, ed eventualmente ritoccati in seguito, al fine di realizzare, di un evento sonoro, un complesso di informazioni fisico-acustiche equivalenti ai dati dell'informazione psico-fisiologica. Questo processo produce l'*informazione radiofonica controllata dei fenomeni sonori*.

Poiché l'intervento registico ora descritto costituisce un momento essenziale della direzione della radiorappresentazione, in quanto determina quello spazio convenzionale in cui si collocano gli elementi dell'opera radiofonica (parole, suoni, rumori), è utile soffermarci rapidamente su di un esempio. Si dia il caso di un dialogo in uno scompartimento ferroviario mentre il treno corre. I due interlocutori non avvertono se non minimamente e a tratti il rumore del treno. Si produce il fenomeno psico-fisiologico della esclusione dei rumori estranei al suono delle parole sul quale converge intensamente l'interesse degli interlocutori. L'ascolto microfonico (microfono situato nello scompartimento fra i due interlocutori) darebbe il suono alterno delle voci disturbato o sopraffatto dal rumore del treno. Se il regista fornisse la versione acustica della scena così come la capterebbe e la riprodurrebbe il microfono, produrrebbe un risultato non tollerabile e renderebbe parzialmente impossibile la comprensione delle parole. Egli dovrà pertanto rinunciare a collocare il dialogo nello spazio acustico microfonico e riscostruire invece, nella convenzione radiofonica, un equivalente dello spazio acustico reale; cioè, eliminare il costante fragore del treno, situandone

ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI N°2 3 DICEMBRE 1998

fugaci apparizioni nei luoghi psicologici più opportuni, là dove risulterà allentata di volta in volta l'attenzione dell'uno o dell'altro interlocutore nei confronti delle parole del compagno. E questa costituisce la prima fase dell'intervento del regista, che agisce sui valori acustici prima che siano captati dal microfono. L'immissione ai momenti opportuni del rumore del treno (disco o registrazione) può essere situata, inoltre, in una seconda fase, all'uscita del microfono; onde apportarvi, se necessario, quelle alterazioni che suggeriscono gli ambienti attraversati dal treno in corsa: aperta campagna (rumore non riverberato cioè senza eco), stazioni, gallerie (rumore più o meno riverberato).

A conclusione di quanto si è venuto dicendo dello spazio acustico e dei suoi tre modi di essere — *soggettivo, microfonico e radiofonico* — vorrei ancora sottolineare nel modo più esplicito la differenza fondamentale che distingue i primi due dal terzo. Mentre quelli sono determinati esclusivamente dal modo di reagire allo stimolo acustico del complesso fisio-psicologico del nostro sistema uditivo-cerebrale ovvero del meccanismo fisico-acustico del microfono, questo è determinato dall'intervento discriminatore della volontà del regista. Necessità, pertanto, in un caso e libertà nell'altro; e quindi: evento naturale e, oppostamente, attività dello spirito.

L'azione esercitata dal regista al fine di predisporre le sollecitazioni acustiche prima che siano captate dal microfono e di eventualmente modificarle o integrarle dopo la presa del microfono (cioè all'uscita di questo) costituisce una delle molteplici operazioni che egli compie per dare concretezza sensibile e pertanto rendere comunicabile l'opera radiofonica. È l'operazione mediante la quale egli stabilisce i vicendevoli rapporti di intensità e di qualità acustica secondo cui devono situarsi gli elementi dell'opera da realizzare, che sono: la parola, il suono e il rumore. Essa si riferisce naturalmente non solo ai rapporti tra gli uni e gli altri elementi, ma anche ai rapporti che devono esistere all'interno degli elementi stessi: piani sonori reciproci sui quali devono, se necessario, situarsi le voci degli attori o i rumori d'ambiente e via dicendo.

Sarebbe ozioso discutere di precedenze tra questa operazione che si riferisce all'impianto acustico dell'opera radiofonica e le altre operazioni che si riferiscono alla messa a punto dei singoli elementi costitutivi dell'opera stessa. Sono operazioni che stanno in funzione reciproca e per le quali non esiste un prima o un poi se non nel corso del loro materiale tradursi in atto, quando necessità o opportunità pratiche e tecniche, mestiere e sistema di lavorare del regista determinano la naturale successione dei singoli momenti del lavoro preparatorio ed esecutivo. Sarebbe altrettanto ozioso discutere di ideali precedenze dell'uno piuttosto che dell'altro elemento dell'opera radiofonica. Ma oltre che ozioso sarebbe ingenuo; poiché nessuna regolamentazione e nessuna previsione è seria e valida all'interno del processo della creazione artistica. Ogni opera è un caso nuovo; e, nella fattispecie radiofonica, ogni nuovo radiodramma, ogni nuovo adattamento di un'opera letteraria o drammatica potrà dare un tipo nuovo e imprevedibile di associazione di parole, di suoni e di rumori.

Non è forse illecito, invece, considerare taluni suggerimenti della casistica se, come per qualsiasi altro tipo di espressione d'arte, essa ci indica determinate ricorrenze tipologiche le quali ci autorizzano a pensare una presumibile loro persistenza. Per esempio, e questo interessa da vicino il nostro discorso, la storia delle opere che hanno associato un poeta e un musicista ci dice che nessuna di tali opere ha una doppia paternità creativa. Le opere del teatro drammatico risalgono al poeta e sono del

Da "Elettronica" del 1956

poeta (anche se contengano musiche di scena), le opere del teatro musicale risalgono al musicista e sono del musicista, che ha fatto suo, investendolo della propria responsabilità creatrice, il preesistente testo poetico. Persino nel caso, in questo senso più illustre della storia del teatro musicale: il caso del teatro di Wagner, il cui centro di gravità espressivo è nella musica, che assorbe in sé e fa suoi i valori poetici del testo letterario. Allo stesso modo è presumibile che il radioteatro si concreti di volta in volta come opera del musicista o come opera del poeta.

La scarsa, finora, casistica di opere musicali radiofoniche (promosse essenzialmente dal concorso internazionale *Premio Italia* istituito per iniziativa della Radiotelevisione Italiana nel 1948) ci ha fornito, nella maggior parte dei casi, dei lavori nei quali la musica, similmente a quanto accade nel teatro musicale, è l'elemento costitutivo determinante. E allora si verifica questo fenomeno, che merita di essere tenuto in conto: l'intervento registico gravita essenzialmente intorno alla musica e si configura, nei casi più tipici e più indicativi, come una esperta e specializzata manipolazione dei suoni all'uscita del microfono. Fino a giungere alle soglie di quei tentativi e di quelle realizzazioni che cominciano a profilarsi nel settore della musica concreta e della musica elettronica.

In questo senso non condivido affermazioni tanto recise quanto discutibili come quella che esprimeva René Wilmet sulla rivista «Radiodramma» (settembre-dicembre 1950): «Non sono le *parole* che colpiranno l'ascoltatore, ma una impressione d'insieme, cui avrà contribuito, almeno nella stessa misura del testo, la sonorizzazione, cioè i rumori e la musica». Non le condivido, non perché questa ipotetica definizione di un radiodramma non possa corrispondere ad un radiodramma musicale (per es.: *Le joueur de flute* di Marius Constant, Premio Italia 1952); ma perché il Wilmet si riferisce implicitamente e senza possibilità di dubbi ad opere che gravitano intorno ad un testo letterario e non ad opere dove un testo letterario non è che il punto di partenza dell'invenzione musicale di un musicista. Nel caso di radiodramma letterario, che ha cioè il suo più autentico nucleo espressivo nella stesura del testo — e questo, ripeto, è di gran lunga il più frequente nella letteratura radiodrammatica dalle origini della Radio ad oggi — in tal caso la cosiddetta sonorizzazione, cioè le musiche e i rumori, si configurano come valori complementari, per quanto indispensabili, sui quali incide particolarmente il gusto e la sensibilità del regista.

Questo rapporto tra gli elementi che compongono, o possono comporre, un'opera radiofonica, dove l'elemento determinante, pur attraverso mille imprevedibili sfumature di peso, è il testo scritto, è il rapporto appunto che interessa di tener presente in una indagine sui problemi della regìa radiofonica, come è questa che veniamo tacendo.

3. La recitazione radiofonica

«Le scritture sono, non già fatti fisici, che direttamente destino impressioni rispondenti alle espressioni estetiche, ma semplici *indicazioni* di ciò che si deve fare per produrre quei fatti fisici. Una serie di segni grafici serve a ricordarci i movimenti, che dobbiamo far eseguire al nostro apparato vocale, per emettere certi determinati suoni. Che poi l'esercizio ci permetta di sentire le parole senza aprir bocca e (cosa molto più difficile) di sentire i toni scorrendo con l'occhio sul pentagramma, tutto ciò non muta nulla all'indole delle scritture, che sono cosa assai diversa dal bello fisico diretto» (B. Croce, *Estetica*, cap. XIII).

Ogni scrittura non musicale ha la sua vir-

tuale esistenza nella dizione che traduca in suoni i segni grafici. V'è tuttavia un genere di scrittura che più d'ogni altra, e quasi imperiosamente, sembra reclamare la vita fonica della parola detta ad alta voce; di più, della parola detta con la totale partecipazione di quegli che la pronuncia, sicché questi dimentica tosto di essere se stesso e s'investe del sentimento che la parola esprime e se ne riempie sino alla più intima fibra della sua umanità. È la parola drammatica, che è la voce di una creatura poetica, e che, penetrata come simbolo grafico nello spirito dell'attore, ne risorge come espressione vivente non più di lui, che par essersi ritratto ed essere scomparso, ma dell'altro, del personaggio; e con tanta maggior pienezza ed invadenza, quanto maggiore è stata la virtù creatrice del poeta, e quanto più illuminata e costruttiva è la virtù d'interprete dell'attore. Allora tutta la carica di caratterizzazione drammatica che era contenuta e come compressa in quei segni grafici non fiorisce ed esplode soltanto nel suono e nel ritmo delle parole, ma si imprime e si modella e propriamente si incarna nella persona stessa dell'attore, nella sua mimica, nei suoi gesti. L'estrinsecazione della parola drammatica non è mai esclusivamente verbale e si distribuisce nel gioco totale dell'attore, perché l'espressione degli uomini veri, come di quelli inventati dai poeti, è cosiffatta che va al di là della pura articolazione fonetica per integrarsi e rafforzarsi negli atteggiamenti del corpo che non se ne sta punto inerte quale immobile supporto di un organo vocale.

Così la parola drammatica ha trovato la sua forma al di là dei secoli e tale l'ha conservata. Non si parla di Teatro per apprestare un termine vittorioso di confronto con la Radio, che uscirebbe perdente se non trovasse proprio nella parola sufficienti risorse per non starsene appartata Cenerentola del palcoscenico; ma per fissare in tutta la sua chiarezza e in tutto il suo peso la capitale importanza della recitazione radiofonica. Che, per essere vivente fattore di espressione drammatica, deve trovare, partendo dal segno grafico, il suo pieno equilibrio nella pura dizione cui non viene in soccorso altro gioco di muscoli se non quelli dell'apparato vocale. E ciò suggerisce non solo quale frattura separi la recitazione radiofonica da quella teatrale, ma quale frattura la separi da quell'altra recitazione che è la facciata stessa di ogni atto e di ogni sentimento dell'uomo che vive la quotidiana vicenda della sua esistenza.

La recitazione radiofonica è la più difficile e la più pericolosa che possa toccare all'attore, come nessun'altra (teatrale, cinematografica, televisiva) essa nasconde l'inganno della facilità; e di una sorta di facilità che è sua soltanto. Essa può illudere sulla sua stessa più intima ed autentica natura ed arrestare l'attore al di qua della nascita del personaggio: cioè al limite di una corretta lettura della parte. Che è il maggior pericolo che sembra aver avvertito Pierre Renoir quando per la prima volta recitò alla Radio nell'opera radiofonica *Ithaque délivrée* di Edw. Sack-ville-West: «Un numero limitato di prove può indurre l'attore alla semplice lettura esatta della propria parte» (Pierre Renoir, *Le comédien, la parole et le silence*, in «Cahiers du Club d'Essais de la Radiodiffusion Française», Parigi, 1947, pag. 42). Ma non è solo questione di prove, quanto, e forse soprattutto, dello spostamento del centro di gravità della recitazione che, per l'attore radiofonico, è tutto nella parola, è tutto nella voce che da sola deve sostenere il peso della caratterizzazione e dell'espressione drammatica. Il personaggio, incarnato nell'attore, si presenta nello spazio radiofonico, che è il palcoscenico della Radio, e vi agisce non altrimenti percepibile che attraverso la mediazione della voce. Questo significa che l'attore radiofonico fallirebbe il suo difficile compito se ci desse del personaggio *la sola voce*, e non invece il personaggio *tutto intiero nella sola voce*.

Tutto ciò è assai meno paradossale di quanto possa parere a prima vista. La consuetudine della nostra vita, di relazione ci fornisce, delle persone che avviciniamo e conosciamo, un'informazione che è la risultante equilibrata e compensata di un insieme di dati strettamente connessi fra di loro. Con difficoltà, e solo a patto di un'attentissima osservazione, riusciamo ad avvertire in seno a questi dati delle incompatibilità e delle contraddizioni. Assai di rado, per esempio, ci avviene di avvertire una disarmonia tra la voce di una persona e i lineamenti essenziali del suo temperamento e della sua struttura fisica: riceviamo un'informazione che è la risultante di dati eventualmente contraddittori e che li unifica mascherando le contraddizioni stesse. Ma un'informazione analitica, come è quella che ci fornisce la Radio che isola la voce, può apportarci delle sorprese. Come quella contenuta nell'esperimento fatto recentemente dal «Gruppo di ricerche sulla voce» per conto del *Centro di Studi Radiofonici* della Radio Televisione Francese e che è riferito da Etienne Fuzellier (*Le groupe de recherches sur la voi*, in «Cahier d'études de Radio-Télévision», Parigi, 1954, fasc. 1). «È noto da tempo che l'ascoltatore, sentendo una voce sconosciuta, si costruisce spesso un'immagine fisica e morale molto falsa della persona che parla. I nostri *test* di caratterologia vocale hanno confermato questo punto ma hanno anche posto in luce un fatto nuovo e capitale: l'errore è *omogeneo*. In altre parole: se si chiede ad un pubblico campione di descrivere l'immagine che si costruisce di uno sconosciuto del quale ha ascoltato la registrazione della voce, questo pubblico descriverà, per lo più, un'immagine assai lontana dalla realtà. *Ma queste descrizioni concordano*. Vale a dire che la grande maggioranza del pubblico scelto per l'esperimento immagina, ascoltando una voce, lo stesso tipo di personaggio».

A parte il riflesso pratico che simile conclusione può avere nella scelta dell'attore radiofonico, essa sottolinea come la voce, assunta sia pure nei suoi semplici valori sonori, quando venga isolata dalla persona cui appartiene, può fornirci di questa persona un'immagine erronea. E ciò avviene perché i veicoli dell'espressione psichica costituiscono un sistema unitario e interdipendente, soggetto a quelle compensazioni per cui, ad esempio, la nobiltà dei gesti e dello sguardo non ci farà neanche avvertire, di una persona, la volgare e sgradevole inflessione della voce.

Un'informazione incompleta, come è quella radiofonica, espone l'ascoltatore a degli errori capitali di valutazione. E allora spetta all'attore, e con lui al regista che lo guida e lo indirizza, di far sì che la recitazione verbale sia davvero l'equivalente della recitazione totale così come la realizza l'attore sul palcoscenico, e non, di quest'ultima, soltanto una parte. «Una buona recitazione — scriveva Charles Dullin — è innanzi tutto l'arte di far comprendere con chiarezza quello che si vuol esprimere, di dare alle parole il loro peso e il loro sapore, senza insistenza e con naturalezza. Questo vale per la Radio come per il Teatro. Ma poiché alla Radio la parola non è rafforzata dalla mimica, la qualità del timbro e le sfumature della voce sono gli unici mezzi espressivi dell'attore. La voce allora diviene il vero strumento di comunicazione della nostra sensibilità, vale a dire che essa è o dovrebbe essere quasi il riflesso della nostra individualità, il nostro volto al microfono» (*De la diction radiofonique*, in «Cahiers du Club d'Essais», Parigi, 1947, pag; 44). La recitazione radiofonica è dunque una recitazione esclusivamente verbale; e, in quanto recitazione verbale, più intensa, più penetrante, più presente a se stessa e più

controllata di quella che sul palcoscenico sarebbe sufficiente.
È appena il caso di rilevare che nella recitazione radiofonica i livelli vocali sono diversi dai livelli della recitazione teatrale; e non solo nel senso che il percorso della voce dal volto dell'attore al sensibilissimo microfono è assai più breve di quello che, oltre alla ribalta, va dal palcoscenico alla sala di un teatro; ma anche nel senso che talvolta — in funzione di particolari prese microfoniche — il generale abbassamento di livello deve subire delle parziali e momentanee modificazioni. Qui, però, ci inoltriamo in una zona della recitazione radiofonica che esorbita dai termini indicati da Charles Dullin e per la quale entrano in gioco apprezzamenti diversi da quelli sul cui fondamento l'attore, indirizzato dal regista, è in condizione di autoregolarsi.

4. Funzione dei piani sonori

Se l'impossibilità di integrare la recitazione verbale col gesto, col volto e con la stessa presenza fisica situa l'attore in una dimensione che non appartiene né alla realtà della quotidiana vita di relazione né a quella della secolare convenzione teatrale, se lo situa cioè in un'astrazione dove alla parola e alla voce si chiede una definizione espressiva pregnante così come il mezzo radiofonico esige, assai più addentro nell'astrazione si procede quando si considera l'aspetto per così dire oggettivo delle prestazioni verbali dell'attore. Quelle prestazioni verbali che non risultano dal modo della recitazione, bensì dal rapporto acustico fra l'attore e il microfono che ne capta la voce. E ciò il regista può ottenere variando la posizione dell'attore rispetto al microfono e, quando è opportuno e possibile, alterando le caratteristiche acustiche dello studio di ripresa o, più semplicemente, spostando all'interno di esso, e dove più conviene, la sorgente sonora.
Qui si tocca un tratto essenziale e di grandi risorse della regia radiofonica: la distribuzione prospettica delle voci. Che si configura duplicemente: come equivalente acustico della posizione dei personaggi nello spazio, e come mezzo per intervenire sulla recitazione stessa dell'attore.
Si è già accennato ai limiti di determinazione spaziale che impone il microfono. Esso non capta, né pertanto trasmette, le nozioni relative alla provenienza delle sorgenti sonore, che l'uomo possiede grazie all'ascolto biauricolare; ma solo nozioni di distanza. Le quali nozioni, per chi sia in ascolto di fronte a un altoparlante, si concretano nell'avvertire la sorgente sonora in un qualche punto situato lungo una retta immaginaria, costituente il prolungamento dell'asse del cono dell'altoparlante stesso. Lungo questa retta immaginaria si determina la prospettiva radiofonica, che consente di collocare le sorgenti sonore entro lo spazio acustico; queste sono tuttavia assai meno esattamente individuabili di quanto non lo siano gli oggetti situati entro lo spazio prospettico ottico. Esse hanno un valore indicativo che non supera un numero abbastanza limitato di distanze passibili di valutazione da parte dell'ascoltatore. Lo sfruttamento dei piani sonori e una giusta distribuzione delle voci su di essi, rappresenta un accorgimento registico di grande importanza; anche qui, tuttavia — come già in altri casi ho avvertito — il mezzo radiofonico non consente il raggiungimento di effetti veristici, ma offre una dimensione convenzionale cui la regìa deve adeguarsi e che può sfruttare come strumento di espressione drammatica.
La prospettiva acustica realizzabile alla Radio permette la determinazione di una serie di grandezze acustiche apparenti che — procedendo dal più vicino al più lontano — si dispongono a questo modo.

Primissimo piano; sensazione di più grande del vero e impressione che la voce si formi e quasi si materializzi davanti all'altoparlante, fra questo e l'ascoltatore; è una grandezza acustica irreale e in certo modo solo parzialmente assimilabile all'effetto di chi parli a pochi centimetri dal nostro orecchio, in quanto si producono molteplici alterazioni nel timbro della voce; il primissimo piano suggerisce, nella dimensione acustica, un'analogia col fenomeno ottico dell'immagine fortemente ingrandita da una lente. Da *primissimo piano a piano di presenza normale*; progressivo rientro nella normalità della sensazione acustica.
Piano di presenza normale; la voce non risulta né vicina né lontana; essa viene percepita nella sua naturalezza, senza deformazioni dovute ad avvicinamento, cioè non ingrandita, e senza che si avverta l'esistenza di uno spazio circostante più o meno vasto; si potrebbe pensare a un'analogia con la percezione ottica della figura intera, ma senza che si scorga l'ambiente circostante; per mantenere in *piano di presenza normale* una voce e suggerire nello stesso tempo l'ambiente che la circonda si dovrà collocare un'altra sorgente sonora più lontana dal microfono al fine di suscitare suoni riverberati.
Piani lontani; allontanando la sorgente sonora dalla posizione di *piano di presenza normale* si avverte una progressiva riduzione di intensità della voce e un instaurarsi, in proporzione inversa, di suoni riveberati (eco) dalle pareti dello studio; i suoni riverberati suggeriscono (in funzione del tempo di riverberazione) la minore o maggiore ampiezza dell'ambiente; salvo che lo studio sia rivestito di materiale assolutamente assorbente o che la ripresa abbia luogo all'aperto e senza superfici riverberanti prossime, ché in tal caso non si avverte altro effetto che una riduzione dell'intensità della voce; via via che si produce o l'uno o l'altro fenomeno l'ascoltatore prova una sensazione acustica analoga a quella ottica di un retrocedere e di un rimpicciolirsi del personaggio.
Un conveniente impiego dei piani sonori, soprattutto se si può attuare un ricorrente riferimento al *piano di presenza normale* come valore di controllo per le posizioni relative vicine e lontane, definisce lo spazio radiofonico nel quale vengono a collocarsi, acusticamente dimensionati, i personaggi. Con molta approssimazione e molte riserve, il *piano di presenza normale* quindi lo spazio acustico che lo contiene, si potrebbe rapportare allo spazio ottico rappresentato dallo schermo cinematografico o da quello televisivo.
Lo sfruttamento dei piani sonori volto a suggerire la posizione reciproca dei personaggi o una loro immaginaria dimensione entro lo spazio acustico si può considerare una necessità costruttiva fondamentale al fine di impiantare con chiarezza le linee strutturali di una rappresentazione radiofonica. Sicché l'ascoltatore provi la benefica sensazione di essere stabilmente situato, di scena in scena, in un punto di ascolto dal quale assistere allo svolgimento della vicenda; e non la sensazione sgradevole e disorientante di un confuso e irrazionale emergere di voci avulse da quella dimensione che non può non figurarsi che le debba contenere; ovvero, di fronte a certe monotone riprese in primo piano, la sensazione di sfogliare un tedioso album di fotografie per tessera. Ma questo è principalmente un fatto di mestiere — di mestiere sorretto dal gusto, se vogliamo, — e che nella vicenda stessa e nel modo come nel copione è sviluppata trova inoppugnabili indicazioni, e dunque una traccia facile a individuarsi. Assai più sottile, e tutto intessuto di sensibilità e di intuizioni drammatiche e psicologiche, è invece l'impiego dei piani sonori al fine di intervenire nell'intimo del valore espressivo della recitazione e guidarne la resa poetica.

Si è visto, a proposito del problema generale della recitazione radiofonica, come questa non possa sussistere altrimenti che come recitazione verbale, e come l'attore radiofonico debba concentrare in questa ultima tutti quei valori espressivi complementari, ma niente affatto superflui e facoltativi, che in qualsiasi altro tipo di recitazione hanno sede nel gesto e negli atteggiamenti del volto. Ma si è anche accennato che la ripresa radiofonica consente per così dire un'azione dall'esterno sull'andamento della recitazione verbale. Questa azione si esercita situando la voce dell'attore, e dunque quella del personaggio, sull'uno o sull'altro piano sonoro per dimensionarla; ma non in funzione di reciprocità prospettica con le voci di altri personaggi, sebbene in pura funzione di peso e di qualità sonora della voce stessa. Naturalmente la zona acustica presumibilmente più feconda per questa forma di qualificazione espressiva, che integra i puri valori di dizione dell'attore, è contenuta fra il *piano di presenza normale* e il *primissimo piano*.

Per il semplice fatto che un simile intervento registico, ove occorra, si rende per lo più necessario nei momenti in cui il personaggio, solo o dialogante, campeggia; quei momenti, cioè, nei quali la tensione espressiva è maggiore. È quando la corrente d'intesa fra attore e pubblico — se le cose si svolgessero sul palcoscenico — tocca il massimo di intensità, quando la statura stessa dell'attore sembra crescere, e il personaggio che egli incarna cancellare uomini e cose che gli sono intorno. In queste circostanze espressive una regìa illuminata può decisamente intervenire sulla recitazione per dare alla voce dell'attore un'evidenza acustica, una definizione timbrica quale l'attore non potrebbe realizzare per ovvie ragioni di fisiologica impossibilità vocale. Ciò che non avrebbe nessun motivo di essere ricercato in teatro dove l'attore recita con tutta la sua persona e non con la parola soltanto; e che per contro si fa sullo schermo cinematografico che ha ospitato innumerevoli illustri casi di esaltazioni espressive giocate tra *primi e primissimi piani* di volti d'attori.

Non può essere questa la sede di addentrarsi anche solo in una enunciazione dei possibili espedienti tecnici e delle relative risultanze foniche. Basta provarsi a immaginare qualche battuta drammatica nella gamma degli effetti acustici, e dunque espressivi, che va dal *primissimo piano al piano lontano*: tenendo presente che una determinata distanza microfonica produce innumerevoli effetti diversi a seconda del timbro di voce dell'attore, degli accenti che ritmano le parole, dell'intensità con la quale i suoni sono emessi. La voce può ingrandirsi, diventare appiccicosa e deforme, occupare con massiccia prepotenza lo spazio sonoro radiofonico, cosicché il personaggio che parla non sia che voce che si scopre in tutta la sua intimità; simile a certe facce ingigantite sullo schermo e delle quali ogni tratto appare ingrandito: i peli, le rughe, le crepe delle labbra, le fessure tra i denti. All'estremo opposto la voce può isolarsi contro una cortina di silenzio e divenire puro suono disumanato. Perché il microfono si fa quasi stregonesco strumento di incredibili mutazioni sonore, quando il suo gelido ed esatto sistema reattivo è convertito in sorprendente rivelatore di segreti sonori.

Oltre il microfono, poi, quando la voce è stata captata, è ancora possibile operare su di essa alterando i dati che il microfono fornisce. E ulteriormente si allarga il campo degli interventi di cui può valersi il regista per ottenere il massimo di resa espressiva della voce umana che è il solo, vero, più efficace strumento della rappresentazione radiofonica.

Esiste un altro intervento verbale, nella rappresentazione radiofonica, che non è voce di personaggio, ma voce che parla senza recitare, come recita chi debba dare testimonianza, parlando, della propria umanità, dei propri casi. Non v'è nessun motivo di aprire una casistica di queste voci disincarnate: che non hanno niente — per esempio — a che fare con le voci degli Angeli, se l'autore crede bene di chiamare Angeli in causa, come Molnar nel *Liliom*. Sono voci che stanno fuori del giro drammatico e che dunque nelle faccende drammatiche non sono impegnate. Per tramite loro l'autore parla in proprio e dice — poiché la Radio glie lo consente, ed anzi spesso sembra che lo inviti e lo trascini — quel che gli par giusto di dire, mentre la vicenda che ha messo in movimento procede o si interrompe. Queste voci sono affidate alla cura esclusiva del regista che le manovra su di un piano acustico e con una timbratura che deve comunque staccarsi da quella dei personaggi.

5. La Sonorizzazione

È già stato rilevato nelle pagine che precedono come l'opera del regista sia determinata dalla necessità di superare l'oggettività della pura e semplice presa microfonica — che darebbe dei valori acustici contrastanti con quelli che costituiscono l'esperienza dei nostri sensi — e di organizzare gli elementi che compongono l'opera radiofonica in una dimensione acustica convenzionale; vale a dire una dimensione acustica che, pur essendo fatta di valori microfonici, rappresenta un equivalente della dimensione psicofisiologica della nostra percezione uditiva. Una dimensione che diciamo *convenzionale*, ed equivalente a quella del nostro sistema uditivo, in quanto contiene il fenomeno acustico non già *come è* nella sua realtà oggettiva ed esterna a noi, bensì *come il regista vuole* che lo sentiamo; cioè come egli ritiene sia stato l'intendimento dell'autore.

Poiché il problema è essenziale, vediamolo tradotto in un esempio concreto e il più possibile elementare, rifacendoci a quello già citato del dialogo in treno.

a) *Realtà psico-fisiologica soggettiva*. Gli interlocutori, interessati al dialogo, non avvertono — o quasi, e se mai a tratti — il rumore del treno. Il rumore del treno esiste, ma non è quasi avvertito; gli interlocutori, se volessero, potrebbero sentirlo.

b) *Realtà fisico-acustica oggettiva*. Un microfono collocato fra i due interlocutori capta tutte le sollecitazioni acustiche che lo investono senza operare alcuna selezione, cioè le voci degli interlocutori e il rumore del treno che le disturba e a volte anche le sommerge. Ascoltando quel che esce da un microfono così sollecitato non siamo più in grado di operare la selezione che gli interlocutori operavano discorrendo in ferrovia. Il rumore del treno esiste, è avvertito e non eliminabile.

c) *Realtà radiofonica convenzionale predisposta dal regista*. Per riprodurre il dialogo e far sì che le voci degli interlocutori risultino intelligibili, il regista deve eliminare il rumore del treno, limitandosi a delle brevi inserzioni nei momenti psicologicamente adatti del discorso. Il risultato è soddisfacente: si sentono tutte le parole e si sente a tratti, dove non nuoce, il rumore del treno. Mentre nei due casi precedenti il rumore del treno esisteva, in questo non esiste più, se non a tratti; sicché, anche volendo, non possiamo sentirlo fuori di là dove il regista lo ha inserito.

Con questo elementare atto di regìa è stata creata una realtà convenzionale; che è una realtà soggettiva (dell'autore e del regista che ne interpreta l'opera) oggettivata acusticamente nell'esecuzione. Una realtà che deve essere accettata come tale dall'ascoltatore e che esiste solo nell'esecuzione radiofonica; e che — quel che è più importante — non corrisponde né a quella soggettiva dell'ascoltatore ove fosse stato in

treno, libero di distrarsi, né a quella oggettiva del microfono. Ho voluto tornare sulla natura dell'intervento registico, che è atto di creazione di una realtà convenzionale, e tornarvi con una certa insistenza, perché mi pare che proprio muovendo da questo presupposto si possa intendere nel suo giusto significato il problema della sonorizzazione di un'opera radiofonica.

Fatta esclusione delle voci dei personaggi e delle altre eventuali voci che recitano senza incarnare dei personaggi, tutti i valori sonori che possono intervenire in una trasmissione radiofonica costituiscono gli elementi della sonorizzazione: musica prodotta dagli strumenti tradizionali, voci cantanti, musica prodotta con artifici propri della tecnica radiofonica (musica elettronica, musica concreta), voci umane delle quali non interessa l'intelligibilità delle parole (brusio, grida, risa, ecc.), rumori del mondo che ci circonda (ripresi dal vero o prodotti artificialmente). Tale il materiale sonoro di cui può disporre il regista.

A proposito della risorsa espressiva della sonorizzazione, fin dai primi anni d'esistenza della Radio, ci si è chiesti se la sonorizzazione debba essere realistica. A una domanda di questo genere non si risponde altrimenti che con un'altra domanda: che cosa significa, alla Radio, una qualificazione di questo genere? Il concetto di «realistico» è un non senso in termini radiofonici. Innanzitutto l'azione del radioregista è indirizzata a concretare in forma sensibile — cioè in valori di rappresentazione — un'opera di fantasia, e cioè un'opera (non importa quale ne possa essere il grado di espressività e di bellezza); dunque a dare vita sonora a un organismo estetico, a una creazione dello spirito. E questo vale per qualsivoglia opera d'arte. Nella fattispecie radiofonica, inoltre, sappiamo come la letterale riproduzione della realtà oggettiva darebbe luogo ad un prodotto assurdo e incomprensibile, per il semplice fatto che l'ascoltatore non sarebbe in grado di operare quell'attività selettiva psico-fisiologica mediante la quale egli apprende un determinato avvertimento acustico e pertanto lo trasferisce dentro di sé; in altri termini, mediante la quale egli lo colloca nel quadro dei propri interessi spirituali e trasforma così l'inerte realtà oggettiva in una vivente realtà soggettiva.

Ribadito questo concetto — che d'altronde è determinante per tutte le operazioni cui è tenuto il radio-regista quando si accinge a mettere in onda un copione radiofonico — si può dire che il problema della sonorizzazione si identifica con la funzione stessa di simile mezzo espressivo; e quindi che non esiste un problema della sonorizzazione, ma tanti problemi diversi quanti sono i singoli casi di impiego della sonorizzazione medesima ogni volta che si rappresenta un lavoro radiofonico; compreso il caso negativo di una messa in onda che si limiti esclusivamente alla parola recitata. Nel qual caso il contrario del suono e del rumore, e cioè il silenzio, può divenire valore fonico positivo.

Ogni opera, in definitiva, composta espressamente per la Radio o per la Radio adattata, reca nell'intimo della propria struttura poetica la chiave per impostarne la sonorizzazione; per meglio dire, la chiave per impostare in modo coerente quella sonorizzazione che rispecchia la veduta interpretativa del regista. Perché è chiaro che la stessa opera può legittimamente implicare soluzioni registiche diverse, come la storia della regìa teatrale ci insegna.

Tenendo per fermo che il centro di gravità poetico di un'opera radiofonica risiede nella parola — salvo che non si tratti di lavoro esplicitamente musicale — è la parola stessa, in quanto manifestazione dei personaggi, che determina la scelta e l'organizzazione dei valori sonori entro i quali prender vita. Ne consegue una considerazione che per essere estremamente ovvia, si potrebbe ritenere superflua; questa: che

qualsivoglia tipo di sonorizzazione e ogni singolo elemento di essa deve avere una precisa funzione espressiva. Deve cioè costituire una necessità, al fine di conseguire la massima resa poetica del testo drammatico che si rappresenta. È abbastanza facile valutare l'inutilità o, peggio, l'assiduità dell'impiego intempestivo dei rumori propriamente detti (mare, fiume, pioggia, porta che si apre e via dicendo); e in questo senso la considerazione che stiamo facendo è ovvia. Molto meno facile invece è la medesima valutazione, per quanto riguarda la musica. La sonorizzazione musicale — non importa se fatta con musica composta espressamente o scelta da materiale che già esiste — è un'arma a doppio taglio: per chi scrive per la Radio e, soprattutto, por chi realizza una trasmissione. Una musica — sia, essa sottofondo alla parola o o stacco fra due scene — non solo può essere mal collocata o mal scelta, che sarebbe alla fine il minor male; ma, può ingannare sulla effettiva consistenza radiofonica di quel certo momento in cui la si chiama in causa. Una scena che non funziona e che lascia insoddisfatti, uno stacco fra due scene che risulti equivoco e inesplicabile senza sonorizzazione musicale, possono davvero reclamare l'intervallo della musica che realizzerà l'equilibrio previsto: in questo caso la musica è necessaria e, se ben scritta o ben scelta, assolve al proprio compito. Ma le stesse deficienze possono derivare non dalla necessità di una sonorizzazione musicale, sebbene da cattiva recitazione, uso errato di piani sonori, insomma da insufficiente messa a fuoco radiofonica. E allora il regista deve guardarsi dal cadere nel tranello di una sonorizzazione musicale a sproposito; perché la falla che si è aperta per difetto di regìa non si tura altrimenti che portando rimedio là dove sta il male, e non cedendo alla facile illusione che la musica possa esprimere quel che non si è saputo esprimere coi mezzi che era necessario mettere in opera.

Se ai fini del nostro discorso non interessa individuare questo o quel problema di sonorizzazione proprio per il fatto, già accennato, che ogni nuova opera reca con sé i propri problemi, mette conto invece di indicare i due modi d'impiego fondamentali della sonorizzazione; che possono, beninteso, realizzarsi anche contemporaneamente all'interno di una stessa regìa. La sonorizzazione intesa alla stregua della scenografia teatrale ovvero intesa come rivelatrice di una condizione psicologica di un personaggio o di un gruppo di personaggi.

L'impiego dei piani sonori nella ripresa delle voci degli attori definisce — come in precedenza abbiamo osservato — lo spazio radiofonico nel quale sono situati e si muovono i personaggi. Si riesce così a determinare un equivalente acustico dello spazio scenico teatrale — per quanto quest'ultimo si avvantaggi di una definizione assai maggiore che è dovuta alla maggiore esattezza dell'informazione visiva rispetto a quella auditiva. Ma i personaggi, collocati in tal modo entro lo spazio radiofonico, si trovano ad agire nel vuoto o quanto meno in un qualche ambiente di cui l'ascoltatore non ha nozione diretta, ma che indirettamente conosce attraverso allusioni del dialogo o posticce e sempre inefficaci descrizioni affidate ad un annunciatore. È perfettamente legittimo che si ometta di definire i luoghi nei quali agiscono i personaggi. Quanto meno per due attendibilissime ragioni: perché così ha prescritto l'autore, ovvero perché così ha deciso il regista. La regìa teatrale ci fornisce degli esempi di simili soluzioni scenografiche; le quali tuttavia, sul palcoscenico, sono di gran lunga più sconcertanti che alla Radio. La rinuncia a suggerire l'ambiente è presumibile che induca il regista ad una cura particolarmente meticolosa della recitazione e dei piani vocali; anche perché l'attenzione dell'ascoltatore deve, a tutti i costi e senza interruzioni, appuntarsi sui personaggi la

cui configurazione verbale non è ammesso che si sfochi.
Ove si scelga l'altra strada, quella cioè di collocare la vicenda in un ambiente, allora soccorre la sonorizzazione con la vastissima gamma delle sue possibilità e dei suoi artifici. L'esperienza d'ascolto di chiunque abbia una certa familiarità con la Radio è sufficiente a rammentare quali e quante possono essere le specifiche soluzioni di questo problema registico. Occorre appena sottolineare il presupposto che condiziona la riuscita di qualsiasi buona scenografia sonora: ogni componente di questa labile struttura di rumori e di suoni deve avere una collocazione calibrata sul tessuto verbale della vicenda, deve essere cioè collocata là dove è in condizione di assumere la più grande attendibilità psicologica e pertanto, nei confronti dell'ascoltatore, il massimo di definizione poetica e narrativa. In un certo senso si potrebbe dire che alla Radio la percezione della scena che circonda i personaggi è in funzione dell'inquadratura acustica, e quindi del piano sonoro, in cui la voce o le voci sono di volta in volta collocate. E questo ci induce ad avanzar l'ipotesi, qui, di una possibile analogia col cinema, nel senso di un parallelismo fra la capienza visiva dell'inquadratura cinematografica e la capienza acustica di quella radiofonica.
Ma oltre alla funzione descritta di allusione scenica e cioè di componente scenografica della rappresentazione radiofonica, musica e rumori possono essere intesi ed impiegati come valori espressivi connessi alla vicenda interiore dei personaggi e ai loro stati d'animo. Sono allora una sorta di proiezione sonora del personaggio valida a renderne più incisiva o più patetica la caratterizzazione. Al limite, un rumore può valere addirittura a definire la struttura fisica di un personaggio, come «i passi di Gian Gabriele Borkman» cui faceva cenno un giorno Enzo Ferrieri. È però un caso limite; perché, come notava giustamente Ferrieri, sarebbe ridicola e intollerabile una simile sottolineatura sonoristica applicata ad un personaggio per il quale i passi non rappresentino quel che per Gian Gabriele Borkman rappresentano appunto i suoi passi.

(Torino, ottobre 1955).

La nuova Radio

Marco Tuzzoli
RAI - Divisione Radio Servizi e Mezzi Tecnici

La trasformazione della produzione di RadioRAI da analogica a digitale, procedendo per fasi coerenti e successive: dalla generazione e elaborazione del segnale audio alla sua distribuzione e diffusione. Vengono inoltre descritti alcuni criteri, riscontrabili in alcune realtà produttive di RadioRAI, del piano di digitalizzazione e informatizzazione della produzione Radio: regie e studi digitali, mixer digitali, impianti centralizzati di smistamento audio digitali.

The new Radio. The article describes the conversion of Radio RAI from analogue to digital systems by coherent and sequential steps: signal audio origination, processing distribution and broadcasting. Some criteria applied on the activities of Radio RAI in the digitalisation and in the engineering, are described: digital studios, mixers, distribution antenna installations for digital audio.

Generalità

L'introduzione del digitale in una prima fase è stata caratterizzata dalla sostituzione di alcuni apparati analogici per la riproduzione e registrazione: l'avvento del Compact Disc ha soppiantato l'ormai obsoleto disco di vinile e insieme al DAT ha consentito di elevare la qualità dei prodotti audio. Inoltre l'uso di questi apparati nell'ambiente della produzione radiofonica, oltre a rendere più agevole il compito dell'operatore, ha permesso un notevole passo in avanti nella realizzazione di palinsesti automatici, sfruttando la possibilità di poterli controllare direttamente mediante computer dotati di software specifico.
In una seconda fase sono state introdotte workstation digitali per la registrazione e il trattamento dell'audio (montaggi, restauro e rigenerazione, messa in onda). Esse si basano su PC che, con l'ausilio di apparati satellite (mixer, joggle, tastiere dedicate, ecc.) consentono una lavorazione fine dell'audio. L'audio prima di essere elaborato viene immagazzinato su supporti di tipo magnetico Hard disk o magneto ottico (M.O.), il prodotto finale è poi salvato su dei file con vari standard (WAVE, AIFF, OMF, ecc.). Questi file possono essere organizzati in librerie e playlist che saranno utilizzate dagli operatori nei lavori di messa in onda e post produzione.
In una terza fase, già in parte realizzata, la RAI si è posta come obbiettivo la completa riprogettazione e digitalizzazione degli impianti di produzione: studi di registrazione e di trasmissione, impianti centralizzati per lo smistamento dei segnali audio.
Questa fase, produrrà notevoli miglioramenti nella qualità del segnale audio, consentendo di sfruttare a pieno i vantaggi offerti dalla nuova tecnica di diffusione digitale DAB.
La fase finale del piano porterà all'informatizzazione dell'intero processo produttivo. Si sposterà l'attenzione dal supporto (nastri, dischi, DAT, CD) al contenuto, che sarà reso disponibile all'utente sotto forma di "pacchetto" multimediale.
Questa fase consentirà di risolvere le problematiche connesse alla conservazione del patrimonio sonoro della RAI (250.000 ore di produzione comprendenti anche documenti di valore storico).
La produzione radio si trasformerà in una rete di computer connessi a dei potenti server che conterranno le registrazioni.
L'audio verrà digitalizzato in formato lineare, campionato a 48 KHz con una risoluzione di 24 bit, e memorizzato sotto forma di file. Tali file saranno accessibili agli utilizzatori tramite delle workstation dedicate, sulle quali si potranno gestire le varie fasi di lavorazione dei documenti sonori, dalla registrazione al montaggio alla messa in onda.

Roma, Centro di produzione. Regia B adibita alle grandi produzioni

Impianti di produzione digitali

Studio digitale

Nella progettazione di uno studio audio digitale la filosofia impiantistica usata per la realizzazione di uno studio analogico è stata modificata per venire incontro alle diverse esigenze strutturali e di architettura dei sistemi a tecnologia numerica.
Dall'esperienza maturata con il recente completamento di alcuni studi digitali nel centro di produzione radio di Roma si è scelta la soluzione di organizzare l'impianto in tre ambienti diversi: la regia, la sala apparati e lo studio di ripresa (vedi figura 1).
Nella Sala apparati sono collocate le sezioni principali del mixer audio (apparati di Input e Output, DSP, apparati di comunicazione ottica, interfacce dati di segnalazione e controllo). Nella regia è situata la superficie di controllo del mixer e gli apparati audio sia analogici che digitali per la registrazione, riproduzione e l'elaborazione audio nonché le workstation dedicate all'editing e alla messa in onda.
La connessione tra questi apparati e le sorgenti del mixer è realizzata attraverso dei cavi specifici di qualità analogica e digitale ubicati tra la regia e la sala apparati.
La struttura flessibile di un mixer digitale ha permesso il superamento dei numerosi punti di sezionamento tra le varie sorgenti e utenze esterne (necessari in un impianto analogico) con i suoi canali di input e output, consentendo un risparmio degli spazi occupati e aumentando il grado di affidabilità dell'impianto.
In un impianto digitale i collegamenti tra lo studio e la regia sono stati sostituiti da cavi a fibra ottica o coassiali: i vari segnali vengono prima convertiti in digitale in prossimità della sorgente e trasmessi, utilizzando specifici protocolli di comunicazione, alle unità di elaborazione del mixer.
I collegamenti tra l'impianto e il mondo esterno, e precisamente con la rete di smistamento audio, sono stati realizzati utilizzando cavi idonei al trasporto di segnali digitali secondo lo standard AES/EBU.

Roma, Centro di produzione. Sala C adibita alla realizzazione di programmi di prosa

Mixer digitali

I mixer numerici in ambito professionale sono caratterizzati da un'architettura di-

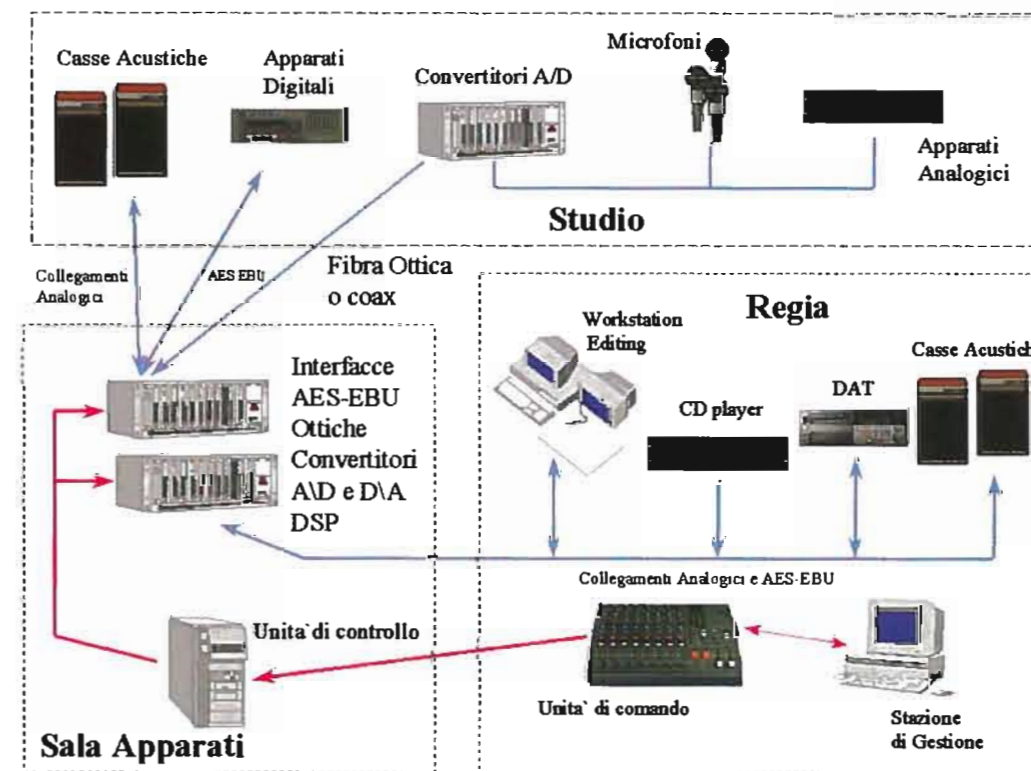



Figura 1

Roma, Centro di produzione. Uno dei cinque nuovi studi digitali adibiti alle piccole produzioni: la regia

stribuita costituita dalle seguenti componenti (vedi figura 1):

Unità di comando: è il tavolo di missaggio dove risiedono i controlli relativi al canale (comandi rotativi, fader motorizzati, strumenti di livello, equalizzatori, bus di somma, ausiliare, gruppi) e alle varie sezioni del mixer.

In questa sezione è, inoltre, prevista una sezione dedicata al controllo di macchine esterne, secondo vari protocolli (MIDI, SONY 9 pin, seriali RS 422-232, ecc.).

Unità di controllo: è costituita da un elaboratore dove risiede il software per la configurazione del mixer e la gestione dell'elaborazione del segnale audio.

Unità elaborazione audio: questa sezione comprende il sistema di instradamento e ripartizione dei segnali audio (matrice audio). Esso è realizzato mediante un bus a divisione di tempo TDM sui cui slot è possibile inserire il segnale audio numerico, rendendolo disponibile alle sezioni di elaborazione del mixer.

Collegamenti audio analogici e AES-EBU
Postazioni Remote Sedi Esterne
Rete di diffusione
-Apparati di I/O (Convertitori A/D -D/A, AES-EBU)
-DSP
-Interfacce Tx Rx ottiche
-Unita' di eleborazione
Studi
Collegamenti ottici Audio e dati
Mixer Audio
Postazione di comando
Stazioni di controllo
Server di rete LAN

Figura 2

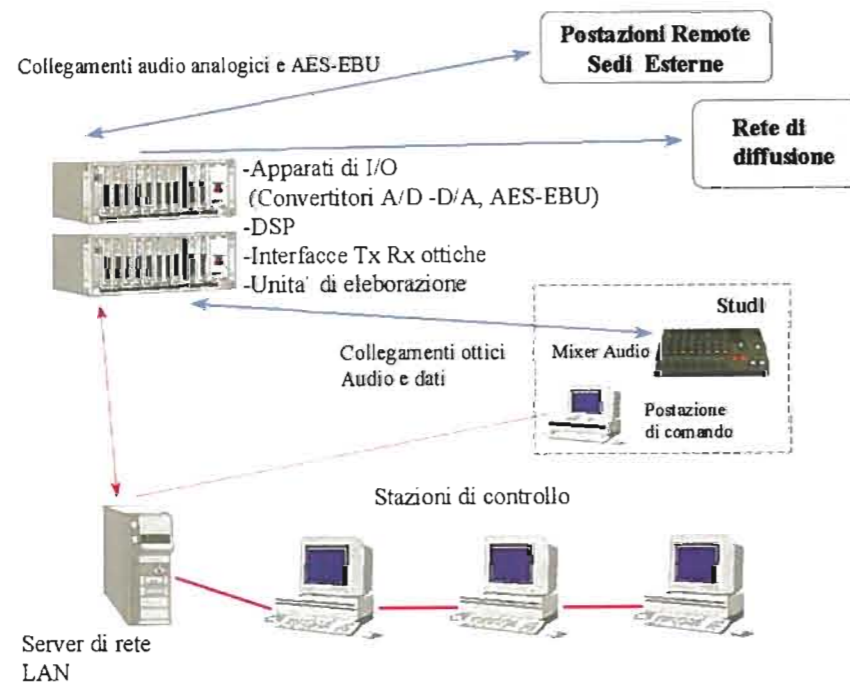
In tale unità risiedono i DSP: processori dedicati alle operazioni di elaborazione del segnale audio (somma, equalizzazione, effetti di dinamica, ecc.).

Apparati I/O Audio: si distinguono in interfacce di conversione A/D e D/A a disposizione per le sorgenti analogiche, e digitali secondo gli standard più diffusi (AES/EBU, MADI, SPDIF, ADAT).

Stazione di gestione: attraverso un'interfaccia grafica l'utente puo` gestire particolari configurazioni del mixer che possono essere salvate sotto forma di file di progetto su hard disk o supporti removibili (M.O.).

Un mixer digitale, rispetto ad un mixer analogico, è caratterizzato dai vantaggi che comporta sulla qualità del segnale audio conseguente ad un'elevata dinamica audio (i convertitori A/D più evoluti consentono di raggiungere una risoluzione di 24-28 bit e i bus di somma fino a 40 bit). Ulteriori importanti vantaggi derivano dalla maggiore flessibilità operativa:

- è possibile assegnare qualunque risorsa del sistema ai vari canali del mixer, e questi ad ogni striscia della superficie di controllo;
- la catena fonica del canale del mixer è completamente configurabile da parte dell'operatore, permettendo di ottimizzare l'impiego delle risorse complessivamente disponibili;
- l'automazione dinamica e statica permette di velocizzare le operazioni dell'utente soprattutto nei lavori in cui si richiedono rapidi cambi di configurazione — si possono caricare dalle librerie, che sono state precedentemente memorizzate, particolari stati di preset del mixer (statica) — o nella post produzione per sincronizzare l'audio che è stato precedentemente riversato, ad esempio, su un multipista digitale;
- le risorse assegnabili, equalizzatori, gruppi, ausiliare, sono configurabili liberamente dall'utente, è inoltre prevista la dotazione di alcuni processori dedicati agli effetti di dinamica con visualizzazione dei relativi parametri.

l'Armadio Mixer e apparati

Importante, in un mixer digitale, è la presenza di strumenti software di diagnostica che consentono l'individuazione del malfunzionamento di ogni parte del sistema, con l'aiuto di una visualizzazione grafica, anche in condizione di on-line.

Le connessioni per il trasporto dell'audio sono realizzate o con cavi coassiali o in alcuni casi con collegamenti in fibra ottica, rendendo così immune il sistema a possibili rumori che si possono indurre per via elettromagnetica.

Impianti di smistamento digitali

L'impianto di smistamento audio di un centro di produzione radiofonico costituisce il centro nodale di tutti i collegamenti tra gli studi e con l'esterno (vedi figura 2).

La funzione principale dell'impianto è l'instradamento, secondo criteri specifici, delle modulazioni radiofoniche verso le destinazioni volute (studi di trasmissione, postazioni remote, sedi esterne, rete di diffusione). Tale funzione viene realizzata mediante una struttura a forma di matrice con

lo studio

n ingressi, m uscite a due o più livelli.
Tale matrice, nei nuovi sistemi centralizzati, è realizzata secondo tecnologie numeriche basate su bus TDM. Essa riceve e fornisce sia modulazioni analogiche con l'ausilio di convertitori A/D e D/A, e digitali nei formati più diffusi.
Uno o più livelli della matrice sono destinati alla gestione di dati seriali per il controllo di apparati esterni (Codec ISDN, Workstation).
I punti operativi di accesso all'impianto sono costituiti da elaboratori che, connessi in rete locale LAN, forniscono i comandi alla matrice per gli instradamenti. Sono inoltre previste delle postazioni per la configurazione, per funzioni di diagnostica on-line e per il controllo di tutto il sistema.
Gli impianti di notevole dimensione (elevato numero di ingressi e uscite) e quelli relativi a centri di produzione che hanno gli studi situati in luoghi distanti, trovano grande vantaggio da un'architettura distribuita. Vengono costituite delle isole dove dislocare sezioni di matrice usando interconnessioni in fibra ottica.
Una tale soluzione permette di ridurre i percorsi dei segnali audio, garantendo le compatibilità con gli standard delle interfacce audio digitali, e rendendo più agevole l'implementazione di espansioni future.

Nuove realtà tecniche significative nella produzione radiofonica:

Centro di produzione di Roma:

- Studio digitale B adibito alle grandi produzioni (riprese di orchestra, concerti e programmi con pubblico).
- Studio digitale C dedicato alla realizzazione di programmi di prosa.
- Studi digitali dedicati alle piccole e medie produzioni.

Centri di produzione di Aosta, Ancona, Genova, Bari, Cagliari:

- Regie digitali per la messa in onda programmi;
- Impianti di smistamento digitali.

Centro di produzione di Torino:

- Regie digitali per la messa in onda programmi;
- Nuovo Auditorium;
- Impianto di smistamento digitale

Verso il futuro

Massimiliano Cristiani e Mario Pascucci

Divisione Radio
Servizi e Mezzi Tecnici

Future perspectives. By using digital technologies in the radio production, increase quality performance and efficiency process but the future is in the production and archiviation information technology. The audio archive is not only a simple warehouse, but becomes a functional requirement for the future Radio.

Le tecnologie digitali sono ormai da qualche anno entrate prepotentemente nel mondo del Broadcast Audio coadiuvando coloro che lavorano a vario titolo nell'ambito di tale settore. Macchine digitali per l'editing o solamente per la riproduzione di brani audio archiviati su hard disk, hanno già da tempo rivoluzionato le metodologie di lavoro ed hanno costretto molte persone a diventare molto più "informatiche" di quello che loro stesse avrebbero mai voluto essere.
Dirigersi verso una gestione digitale dell'audio non è vantaggioso solo dal punto di vista della facilitazione e velocizzazione del lavoro del personale tecnico coinvolto, ma per lo più risulta essere fondamentale dal punto di vista della conservazione e della rapida fruibilità dei documenti audio del passato e non, cosa che per una Azienda come la RAI è di vitale importanza. A tal proposito basti pensare al fatto che la digitalizzazione permette di essere totalmente svincolati dal supporto e i brani audio diventano dei files che possono essere facilmente duplicati e/o trasferiti (cosa molto più macchinosa se fatta, per esempio, con i nastri analogici); la stessa duplicazione, e quindi la conservazione dei brani, diviene molto più rapida e senza perdita di qualità (basta pensare alla possibilità di poter usare, per esempio, dei codici di correzione di errore). Altro punto di vista da tenere in considerazione è quello relativo ai problemi di stoccaggio dei supporti: passare da normali nastri analogici da 1/4 di pollice a, per esempio, nastri DLT (Digital Linear Tape) da 20 Gbyte o meglio ancora da 35 Gbyte, implica una riduzione di spazi e di costi di conservazione non indifferenti. A tal proposito si possono vedere il grafico di fig.2 e la tabella di fig.1, che rendono l'idea per quanto riguarda l'occupazione fisica di spazio per 1000 ore di audio nel caso in cui vengano utilizzati nastri per audio analogico della durata media di 75 minuti, e vari tipi di supporti digitali contenenti brani audio codificati in PCM (Pulse Code Modulation) lineare con frequenza di campionamento 48 Khz e 24 bit per campione.
I dati riportati nelle figg.1 e 2 si riferiscono direttamente alle caratteristiche dei supporti utilizzati in RAI, e prendono in considerazione tutti i supporti digitali che sono stati messi a confronto allo scopo di decidere quale di essi poteva essere più indicato per l'opera di digitalizzazione che la RAI ha appena intrapreso e che costituisce il punto di partenza nella realizzazione del progetto denominato *Audioteca Informatica* di cui parleremo nel seguito di tale articolo.
Scopo fondamentale del progetto *Audioteca* è quello di risolvere definitivamente le problematiche di conservazione e accessibilità del patrimonio audio esistente e futuro, integrando nel contempo le necessità della

L'impiego di tecnologie digitali nella produzione radiofonica consente miglioramenti nella qualità del prodotto e nell'efficienza dei processi, ma il futuro è nella "informatizzazione" della produzione e della archiviazione. L'archivio sonoro, da semplice magazzino di prodotti diventa infrastruttura per la Radio futura.

Tipo di supporto	Minuti di audio per supporto	Percentuale media di spazio inutilizzato sul supporto	Spazio occupato rapportato allo spazio impegnato da una bobina di nastro da 90 minuti	Spazio in metri lineari per 1000 ore di audio	Note
Nastro aperto	75	50%	1	32	gran parte del contenuto della nastroteca RAI e' su supporti di questo tipo
Nastro aperto GR	50	60%	1/2	30	viene considerata la disposizione sovrapposta su due strati
DAT	120	40%	1/12	1,4	Sistemando i DAT in scatole per nastri da 90' ne entrano esattamente 12
CD	74	20%	1/6	3,4	Viene considerata una sistemazione ottimale su due strati
Disco vinile 33'	45	0%	1/2	13,5	
Nastri DLT 20Gbyte	1700	5%	1/2	0,4	Sono considerati nastri DLT di dimensione standard (102x102x25mm), su due strati
Nastri DLT 35Gbyte	3000	5%	1/2	0,2	Sono considerati nastri DLT di dimensione standard (102x102x25mm), su due strati
Hard Disk 9Gbyte	720	10%	1/2	0,9	Sono considerati hard disk di dimensione standard (102x150x25mm), su due strati

Figura 1

Figura 2

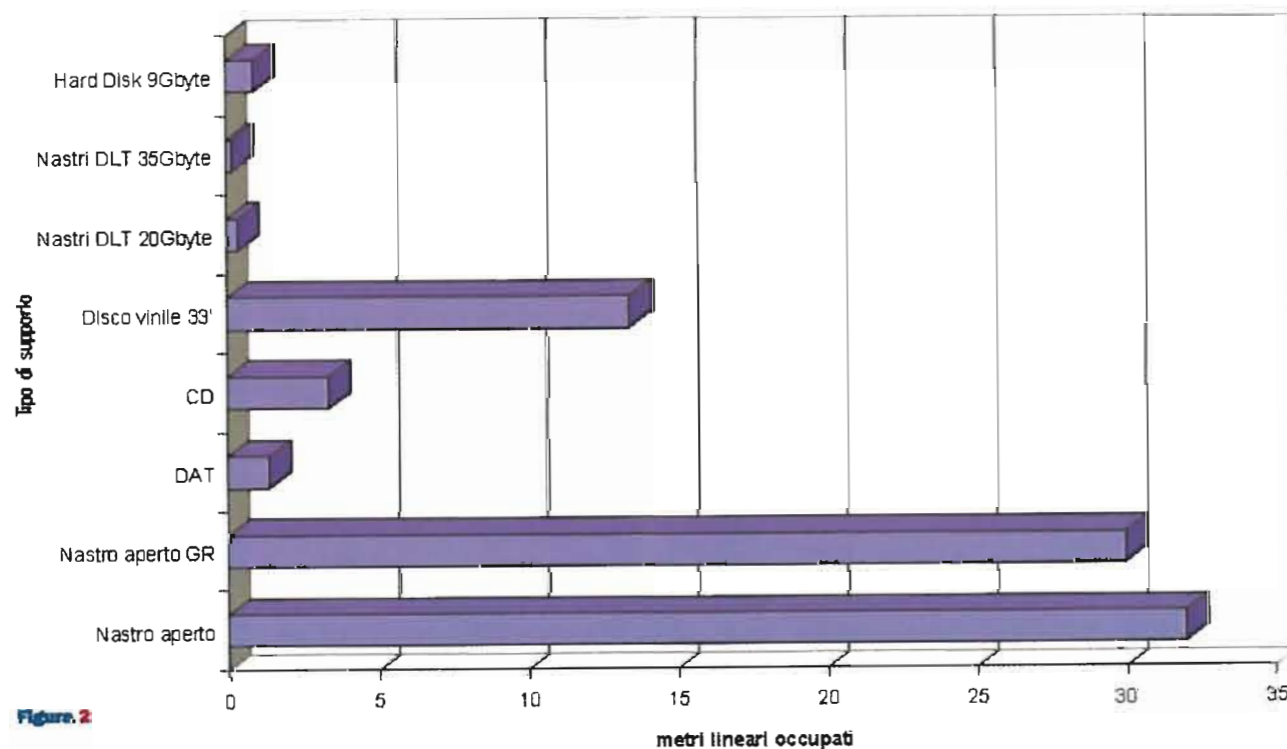
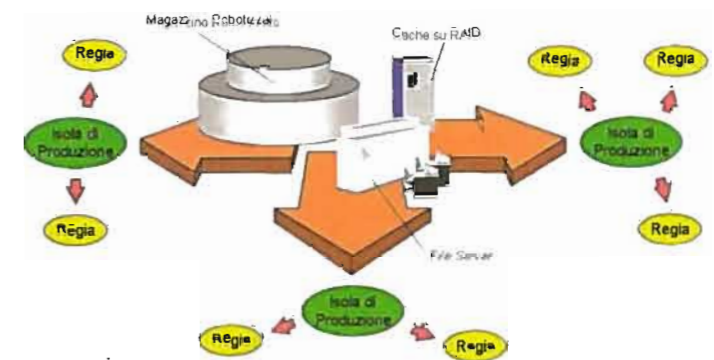



Figura 2

produzione Radio e collegandosi con le procedure amministrative aziendali, in modo da poter realizzare, riprodurre, archiviare e contabilizzare tutta la produzione radiofonica in modo efficiente e coerente.

L'Audioteca Informatica sarà costituita fondamentalmente da due elementi base: il *Grande Archivio del Suono* e le *Isole di Produzione*. Tali elementi gestiranno inizialmente, in accordo con gli obbiettivi definiti poco sopra, tutto il materiale che verrà prodotto nell'ambito di un sistema a margine denominato *Sistema di Trascrizione*. Quest'ultimo, già operante da alcuni mesi, ha il compito di digitalizzare tutto il materiale audio RAI già esistente su supporto analogico (ad oggi 230.000 ore con incremento del 6% annuo), trasferendolo su nastro DLT con capacità da 35 Gbyte, utilizzando una codifica PCM lineare con frequenza di campionamento 48 KHz e 24 bit per campione. Tale sistema di Trascrizione quindi, iniziando a digitalizzare i documenti storici, darà il via all'opera di conservazione e nel contempo inizierà a fornire quello che potremo chiamare il "carburante" dell'Audioteca; la sua opera avrà fine nel momento in cui tutto il materiale pregresso sarà stato convertito in files digitali, e le nuove produzioni Radiofoniche non verranno più realizzate su supporto analogico ma direttamente in digitale all'interno dell'Audioteca.

Il **Grande Archivio del Suono** sarà il serbatoio che conterrà tutti i documenti audio di Radio RAI (in fig.3 viene riportato uno schema di massima degli elementi principali che lo costituiranno ed inoltre viene indicato come esso si interconnetterà con il resto del sistema).

Il *Magazzino Robotizzato* conterrà tutti i nastri DLT con all'interno l'archivio digitale della Radio, ed avrà il compito di evadere tutte le richieste di files provenienti dagli utilizzatori, rintracciando i brani e inviandoli via rete agli utenti. La gestione di tali DLT da parte del magazzino robotizzato (ne contiene oltre 10.000 nella configurazione adottata da RAI), prevede anche la loro movimentazione per l'inserimento e/o l'eliminazione dei supporti, e la duplicazione automatica dei supporti più vecchi o che comunque comincino a dare dei problemi. Tutte queste operazioni verranno compiute per mezzo di una robotica in grado di manipolare e gestire tutti i supporti e i drive più comuni. La capacità prevista per tale sistema è di circa 350 Tbyte iniziali (1 Tbyte = 1.000 Gbyte), per arrivare a oltre 500 Tbyte entro i prossimi 10 anni.

Tutti i brani che verranno richiesti da un generico utente, dovranno quindi passare attraverso una richiesta fatta pervenire al *Magazzino Robotizzato*.

La fruizione di tali brani avverrà dopo il loro trasferimento presso l'utente, non in streaming, in un tempo che nel caso peggiore è di pochi minuti.

Per velocizzare la fruizione dei brani contenuti nel magazzino robotizzato, farà parte del Grande Archivio del Suono anche una Cache su dischi RAID (Redundant Array of Inexpensive Disks), che conterrà i brani più utilizzati evadendo così le richieste più frequenti.

Utenti del Grande Archivio del Suono saranno principalmente tutte le stazioni di Regia per la produzione e la messa in onda.

Figura 3

Le **Isole di Produzione** saranno le unità produttive di tutta la Radio. Ognuna di esse servirà un certo numero di Regie, che sono i luoghi designati ad effettuare la produzione e la messa in onda radiofonica. Le Regie accomunate da un'Isola di Produzione saranno omogenee per tipologia di lavoro (messa in onda del Giornale Radio, produzioni radiofoniche di prosa, etc.) ed attingeranno il materiale necessario alla loro operatività direttamente dal Grande Archivio del Suono. Anche le Isole di Produzione comunque saranno equipaggiate da cache locali su RAID contenenti sia i brani più utilizzati dall'Isola stessa e sia le nuove produzioni delle Regie associate in modo da avere subito disponibile tutto il materiale creato in loco senza necessità di riversare tutto nel Grande Archivio del Suono da cui poi recuperarlo. Lo schema di massima di una generica Isola di Produzione viene riportato in fig.4. In tale schema si vede che all'interno di una generica Regia esisteranno stazioni di tipo diverso che avranno lo scopo di gestire diverse necessità, come la ricerca in archivio o l'editing dei brani, e nel contempo lasceranno la stazione di messa in onda libera di fare il lavoro intorno al quale l'Audioteca verrà costruita: la messa in onda.

La codifica PCM lineare (con campionamento a 48 KHz e 24 bit per campione, stereo) che è stata scelta per l'utilizzo all'interno dell'Audioteca, permette di avere un'eccellente qualità audio (molto superiore a quella offerta da un CD), ma nel contempo, ovviamente, impone dei vincoli per quanto riguarda le capacità richieste per la memorizzazione dei documenti audio (ogni ora di audio stereo necessita di circa 1 Gbyte) e per quel che riguarda i flussi di dati per un eventuale utilizzo del sistema in streaming (2.3 Mbps per ogni canale stereo).
Il primo parametro ha fortemente contribuito alla scelta dei DLT come supporti i quali, grazie al loro rapporto capacità/costo e alle prestazioni, si sono rivelati ottimali per le esigenze specifiche di questo progetto.
L'elevato flusso dati che sarebbe necessario per poter utilizzare il sistema in modo streaming con l'assoluta certezza di non avere dei "buchi audio" (cioè la momentanea mancanza di segnale uscente dal trasmettitore) nei files che vengono ricevuti e mandati in onda, ha spinto il progetto nella direzione del "near on line", cioè si preferisce scaricare con un certo anticipo il materiale audio nella postazione di Regia per poi utilizzarlo in locale, svincolandosi così totalmente da tutti i possibili problemi di sovraccarico che la rete dati potrebbe avere e ottimizzandone al tempo stesso i costi di esercizio.
Le macchine che verranno utilizzate per realizzare tale progetto si baseranno su sistema operativo UNIX e saranno inizialmente collegate con reti Fast Ethernet su UTP (Unshielded Twisted Pair), o su fibra ottica per le tratte più lunghe, per poi migrare probabilmente verso Gigabit Ethernet dove necessario. Tutte le Sedi RAI dislocate sul territorio Nazionale saranno poi collegate su rete WAN allo scopo di poter anch'esse raggiungere il Grande Archivio del Suono. Tutti gli elementi che costituiranno tale sistema, siano essi appartenenti al Grande Archivio del Suono o alla Isole di Produzione, faranno parte di una architettura basata sullo standard CORBA (Common Object Request Broker Architecture) nella quale non esiste una suddivisione Client/Server classica, ma una suddivisione Richiedente/Fornitore in cui però tutti indistintamente possono ricoprire uno dei due ruoli a seconda delle situazioni. Questo vuol dire che nel momento in cui una stazione ha necessità di un certo file audio, lancia una richiesta alla quale riceve risposta da tutti i possibili fornitori che notificano anche il costo di sistema dell'operazione (tempo necessario, impegno di risorse, etc.). A questo punto il richiedente lancia la richiesta all'oggetto che è in grado di evaderla al minor costo possibile. In tale architettura possono esistere più fornitori di uno stesso servizio, questi possono essere aumentati senza particolari problemi di riconfigurazione ed inoltre, quel che più è importante, il sistema funziona fino a che esiste almeno un fornitore disponibile.
Non bisogna dimenticare che il sistema nasce con l'obiettivo di gestire la produzione radiofonica RAI, nella quale la mancanza di un documento sonoro o un difetto nell'audio riprodotto può rappresentare un disservizio grave che oltretutto viene ascoltato contemporaneamente su tutto il territorio Nazionale senza possibilità di replica: quando un disservizio viene scoperto, vuol dire che è già tardi per porvi rimedio. Da questa semplice considerazione si può comprendere l'importanza assoluta che assume il requisito di affidabilità del sistema e di continuità del servizio da esso reso agli utenti. L'architettura CORBA, insieme a molti altri accorgimenti, contribuisce a realizzare un sistema robusto e flessibile, che possa garantire un livello minimo di servizio anche in presenza di gravi problemi locali.
Lo sviluppo di tutto il software costituente il progetto avviene con riferimento alla normativa "ESA (European Space Agency) Software Engineering Standard", che permette di seguire passo dopo passo e con rigore tutte le fasi dello sviluppo, dalla definizione dei requisiti di utente allo svolgimento dei test finali di accettazione.
Quanto detto è, per forza di cose, una semplice panoramica di quello che sarà il sistema, finora unico al mondo nel suo genere, che rivoluzionerà il mondo del Broadcast Audio facendo scomparire tutti quei supporti e riproduttori analogici che hanno costituito il nucleo intorno al quale le Radio di tutto il mondo fino ad oggi hanno ruotato. Il mondo dell'analogico che ci spinge a pensare ad un brano musicale come ad un documento che esiste in quanto appartenente ad un mezzo fisico che lo contiene (supporto magnetico) verrà sostituito, nell'Audioteca Informatica, da quello digitale, in cui i contenuti artistici esisteranno come entità proprie svincolate da qualsiasi supporto.

In tale articolo non compaiono tutte le idee, i dubbi, le certezze, le difficoltà e le speranze di tutti coloro che lavorano e che lavoreranno nell'ambito dell'Audioteca Informatica RAI con la coscienza di essere i pionieri di un nuovo modo di fare la Radio.

Verso il futuro

Approdo a Nuova Atlantide

La musica prodotta con l'ausilio del calcolatore
Percorsi storici e teorici

Luciana Galliano

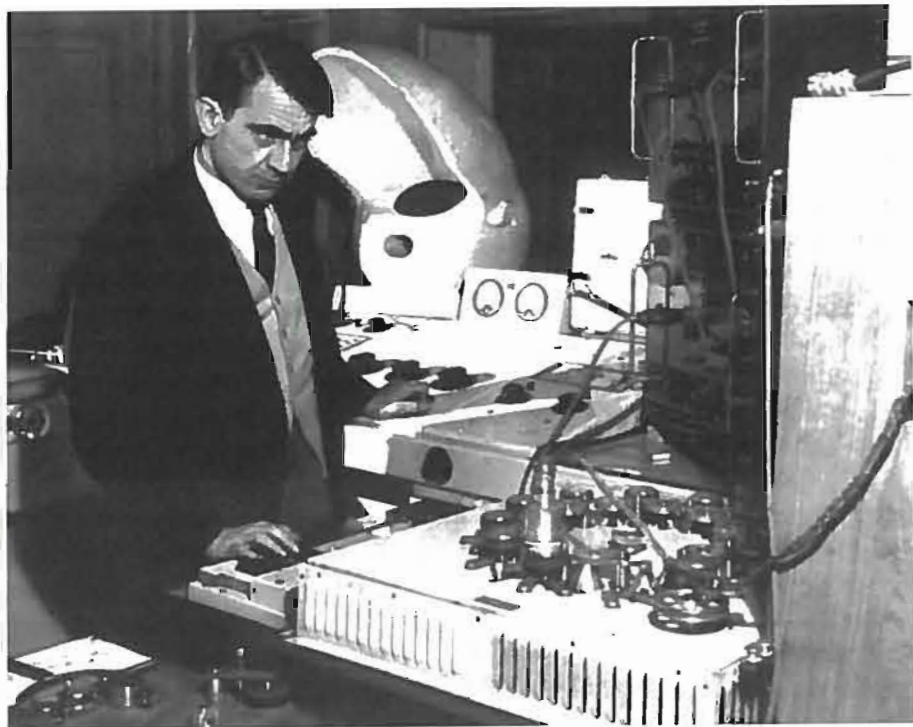
Luciana Galliano, musicologa, si interessa alla musica contemporanea da un punto di vista teorico ed estetico. Insegna all'Università di Venezia ed è responsabile del settore musicale presso l'AIAM (Accademia Internazionale Art. e Media) di Torino.

L'uso del calcolatore in musica ha da poco compiuto cinquanta anni, se vogliamo riferirci al primo elaboratore a transistor della IBM o al grande sintetizzatore Mark I di Harry F. Olson per la RCA, che vedono la luce nel 1955. Già prima di quell'anno vi erano "macchine" usate per produrre e manipolare suoni musicali: oscillatori, modulatori ad anello, registratori, diversi apparati di controllo del voltaggio. Fino alla prima metà degli anni Cinquanta dei calcolatori abbastanza rudimentali potevano essere utilizzati per la sintesi del suono, ma per mettere a punto un programma che realizzasse delle semplici funzioni musicali erano necessari anche mesi di calcolo, e la quantità di memoria necessaria per produrre un suono (1) faceva sì che non si andasse molto al di là di elementari forme d'onda a dente di sega. La musica veniva prodotta piuttosto con gli apparecchi elettroacustici, mentre i calcolatori venivano usati con maggior soddisfazione per l'analisi del suono.

Eletronic Sackbut (1945-48)

L'analisi del suono è stata ed è tutt'ora uno dei punti nodali dei percorsi teorici non solo musicali del nostro tempo: con l'analisi elettronica, una nuova consapevolezza della struttura fisica del suono scosse alla radice alcuni dogmi da sempre accettati, per esempio quello sulla periodicità del suono contro la aperiodicità del rumore, o quello sulla definizione sinusoidale del suono. Pierre Schaffer, nei suoi studi sugli *objets musicaux* (2) e nelle sue ricerche condotte insieme ad Abraham Moles (3) (il quale proveniva a sua volta da analoghe ricerche svolte presso il CNR francese), arrivò a concludere che i processi sonori non possono essere esaurientemente descritti dalle funzioni sinusoidali degli spettri di Fourier (4), fino ad allora base indiscussa della ricerca acustica, perché queste esprimono perfettamente un suono inesistente, privo di transitori, paradossalmente un suono di sintesi; con queste indagini venne "a ragion scientifica" abbattuto il confine fra suono e rumore. I compositori entrarono per il tramite del calcolatore nella costituzione stessa del suono, nelle sue componenti e processi, e fu una sorta di illuminazione: Karlheinz Stockhausen fu «completamente meravigliato da quello sconosciuto miracolo che c'è nel mondo delle vibrazioni» (5), il giapponese Yuasa Jōji rivide radicalmente il proprio pensiero musicale scoprendo che c'è alla base della struttura del suono una concezione zen: ciò che sembra unitario alla percezione è in realtà il risultato di innumerevoli componenti, e ciò che sembra complesso può essere riportato ad una singola formula. Questo tipo di consapevolezza del suono cambiò radicalmente i rapporti fra micro e macroforma, ciò che — per ogni compositore che abbia avuto una partecipe esperienza con gli strumenti elettronici — si ripercuote anche sulle composizioni per strumenti tradizionali: una certa struttura a fasce, il controllo sull'insorgere del suono ecc.; tanti elementi del linguaggio della Nuova Musica nascono dall'esperienza con l'elettronica, e la forma è come fosse pensata a partire da nuove coordinate.

Questo "entrare nella materia del suono" si coniuga bene con una delle utopie radicali della musica elettronica: quella di poter fare *tutto*, di non avere limiti nell'invenzione sul e col suono. Da una parte l'ebbrezza di poter comporre non solo *con* i suoni ma *i* suoni stessi, e dall'altra, conseguentemente, la possibilità di lavorare con un suono neutrale, non connotato storicamente, libero dai vincoli dei sistemi tonali, temperati, diatonici — un'esigenza poetica molto sentita nel primo dopoguerra. Si realizza la possibilità di stabilire delle coordinate logiche fra la microforma — il singolo suono — e la macroforma — la struttura del brano — non solo organizzando i parametri in relazione ad un nucleo concettuale quale poteva essere la serie dodecafonica, ma in base a qualsiasi altro tipo di struttura o di ordinamento. L'idea di onnipotenza si scontra naturalmente con delle concrete realtà materiali, e ogni musicista si trovò a lavorare magari per mesi su un'idea, un'intenzione sonora, inseguendola secondo itinerari diversi salvo doversi poi talvolta arrendere, analogamente a quanto accadeva nell'ambito della musica seriale, alla «profonda estraneità del mondo concettuale della matematica nei confronti della continuità immediatamente vissuta del mondo fenomenico» (6). A Colonia Stockhausen lavorava sostanzialmente sovrapponendo

Particolare del RCA Mark II Electronic Music Synthesizer (1957)

Pierre Schaffer nel primo studio di musica concreta, Parigi 1951

singole componenti di sinusoidi, una sintesi additiva molto più onerosa della sottrattiva (7), usata in altri studi quali ad esempio quello di Tokyo, presso la NHK (8). A Milano lo Studio di Fonologia della RAI si forma più tardi di quello di Colonia ed è quindi relativamente meglio attrezzato (9); molto empiricamente vi si lavorava con una tecnica di micromontaggio di suoni costruiti sinteticamente a partire da onde sinusoidali differenti, spezzettate e rimontate attraverso la registrazione. A Parigi lo studio di Schaeffer lavorava per lo più sull'elaborazione di suoni registrati. In tutti questi studi e negli altri importanti che seguono — Utrecht, Friburgo, i vari studi delle università e case produttrici americane (10) ecc. — si sfruttava molto l'uso di tracciati ricorrenti, o anche la velocità, con cui realizzare accumuli di tensione volutamente collocati oppure costruire suoni complessi dotati di ricche timbriche.

La sensazione di poter fare tutto con le macchine, di *voler* fare tutto con le macchine sembra svilupparsi sostanzialmente lungo due tendenze compositive: una è quella del lavoro sul suono, dell'esplorazione del rumore, dell'attenzione alla struttura timbrica — ed è il tipo di lavoro di Varése (11), di Cage (12), di Ligeti, in generale dello studio GRM di Parigi, e forse, anche se si può dire un po' forzosamente, quello di Luigi Nono. Un'altra linea di tendenza è quella dell'ebbrezza della progettazione, secondo i dettami strutturali post-weberniani e le classificazioni dei valori dinamici e ritmici di Messien: con la macchina il controllo dei parametri diventa qualcosa di più reale e realizzabile; questa seconda tendenza è evidentemente quella di Stockhausen, Xenakis, Pousseur e, anche in questo caso un po' forzosamente, del primo "periodo elettronico" di Luciano Berio.

Eppure, nel corso della programmazione dei parametri, emerge infine come la definizione del timbro e delle altezze, e anche quella delle relazioni temporali (vibrazione/frequenza), abbia contorni sfumati e compenetrati gli uni negli altri. La musica elettroacustica, dopo aver messo in luce la relativa insufficienza del teorema di Fourier, tocca con mano come anche il procedimento più esatto si sottragga alla perfezione, all'infallibilità che viene solitamente associata alla macchina. Stockhausen, che lavorava alla sovrapposizione di diverse componenti, capacitandosi della impossibile sincronizzazione di queste, giunse a teorizzare dei procedimenti aleatori; Xenakis — lungo un diverso percorso — teorizzò l'assoluta arbitrarietà dei procedimenti ricorrendo, nel processo compositivo, alle leggi della stocastica perfettamente acquisibili dalla macchina.

È un po' la scoperta dell'ineffabile *quantum* di resistenza residua nella logica della macchina. C'è inoltre una sorta di paradosso che accompagna, in modo discontinuo, l'evoluzione della musica elettronica: la produzione è fatta di numeri ma è fondamentalmente, specie all'inizio, affidata all'intuizione; la macchina riporta inizialmente il compositore ad una "manualità" (13) da tempo dimenticata, ad un rapporto diretto con la produzione del suono che da lungo tempo passava attraverso la mediazione dell'interprete. I primissimi brani per suoni elettroacustici, dall'inizio del secolo (14) sino alla Seconda Guerra, venivano eseguiti dal vivo, e spesso il compositore era anche l'inventore della macchina che produceva i suoni; poi nel dopoguerra, con l'avvento delle tecniche di registrazione — considerando i lunghissimi tempi necessari alla programmazione dei calcolatori — il brano venne affidato, concluso, ad un nastro. Pertanto il brano musicale così creato in prima persona dal compositore (con una mediazione primigenia, quella del tecnico) veniva consegnato all'ascolto privo di qualsiasi mediazione umana, e ben presto si palesò la stranezza della situazione in cui un pubblico si raccogliesse ad ascoltare degli altoparlanti: la condizione di totale (e ripetibile) riproduzione della composizione musicale inficiava definitivamente la convenzione di unicità dell'esecuzione concertistica. Così quando, per mezzo delle apparecchiature che consentivano la produzione musicale in *live electronics* il compositore potè accedere ad un controllo della musica prodotta, reso sensorialmente possibile in tempo reale, accadde anche che la pratica del concerto ritrovasse la sua aura di "qui ed ora" (irripetibile) e il compositore, attraverso il controllo in tempo reale sul suono, riacquistasse quella manualità cui si accennava.

Con, da una parte, la messa a punto di un prodotto musicale assoluto quale poteva essere il nastro registrato e, di contro, tutte le tensioni linguistiche costitutive dell'avanguardia postbellica, legate alla temporalità e all'alea, la pratica musicale elettronica ha a lungo oscillato fra il desiderio della mediazione umana dell'interprete e le pratiche quasi vessatorie sull'interprete: Cage equipara concettualmente l'interprete alla macchina in quanto mera "fonte sonora"; Xenakis si disinteressa della effettiva eseguibilità delle proprie partiture. In realtà l'interazione con un interprete era cosa praticata già all'origine della *musica ex machina* (15) ben prima e con altre modalità rispetto all'avvento del *live electronics* — ad esempio con un'esecuzione dal vivo insieme al nastro magnetico, o con l'utilizzo di modulatori; due esempi eccellenti sono la *Musica su due dimensioni* per flauto, percussioni e nastro di Bruno Maderna, in cui il flauto dialoga con la propria immagine riprodotta, composto nel 1952 (16) e quindi primissimo esempio di un tentativo di interazione fra apparecchio e inter-

Karlheinz Stockhausen con l'altoparlante a rotazione

prete, e *Mantra* di Stockhausen, del 1970, composto per due pianoforti e un modulatore ad anello (corredato di microfoni, un compressore, un filtro, un generatore d'onde sinusoidali campionato ed un potenziometro).
In effetti sembrerebbe che tutt'oggi si lavori a progetti simili a quelli di trenta/quaranta anni fa, come dice Berio si facciano le stesse cose solo con mezzi molto più potenti ([17]), a dimostrazione del fatto ovvio che il progresso dei mezzi non è in sé una garanzia per la creatività ([18]). La cosa parrebbe confermata dall'uso che molti compositori hanno fatto recentemente, piuttosto che di onnipotenti super-computer, di strumenti elettronici pensati per la musica "leggera", come ad esempio il gruppo francese L'Itineraire negli anni Ottanta, o anche dal fatto che molti compositori, fra cui lo stesso Stockhausen, abbiano preferito continuare a lavorare con apparecchiature forse invecchiate ma già loro note.
In realtà alcuni importanti mutamenti tecnici hanno aperto nuove strade e cambiato profondamente il modo di comporre musica con l'ausilio del calcolatore. Negli anni Settanta, con il passaggio a tecniche digitali, più raffinate, non fu più strettamente necessario che a fianco del compositore si trovasse un tecnico capace di programmare l'elaboratore; peraltro all'epoca, sino alla fine del decennio circa, le macchine erano molto costose e vi si poteva accedere soltanto con il sostegno economico di un'istituzione. Inoltre l'interazione fra il compositore e la macchina era ancora abbastanza rigida, per cui in realtà l'ausilio tecnico era, se non teoricamente, *praticamente* necessario. A partire dalla metà degli anni Settanta, il "fattore giapponese", cioè il monopolio del mercato da parte di grandi ditte che immettevano o ritiravano dal mercato con incredibile velocità strumenti destinati ad un consumo relativamente ampio ([19]), ebbe delle ripercussioni sull'attività di tutte le industrie che producevano macchinari elettronici per la ricerca musicale; ma dagli anni Ottanta, con la messa a punto del personal computer, assistiamo ad un vertiginoso aumento delle capacità insieme ad una altrettanto significativa diminuzione dei prezzi; infine, fattore decisivo è stato soprattutto l'avvento di una nuova generazione di compositori — Trevor Wishart, Alessandro Melchiorre, Carl Stone, Mamoru Fujieda, Thomas Gerwin— che si è formata all'uso del computer in prima persona, senza mediazioni e senza difficoltà nel trattare con la macchina. La generazione dei compositori prima citati aveva in realtà molto poco a che fare con l'elettronica: pochi di loro sapevano usare un computer; nonostante la loro grande preparazione, Emmanuel Nunes, Franco Donatoni o Giacomo Manzoni sono ancora compositori che scrivono con la penna. Di fatto, il pensiero compositivo di quella generazione derivava ancora dalla scrittura, mentre il pensiero che deriva dal computer è articolato su più livelli e in più direzioni, è un modo molteplice, multidimensionale di pensare. Ad esempio, la spazializzazione del suono era un elemento già indagato da Stockhausen e Nono e altri compositori negli stessi anni, ma le possibilità anche concettuali che ha raggiunto oggi il pensiero dello spazio, costruito *dall'interno* del suono stesso, vanno molto al di là di quei risultati. La scrittura "con la penna" è una concezione lineare che si è persa, soppiantata da una concezione multidirezionale derivata dall'informatica; paradossalmente si potrebbe affermare che il nastro usato da Stockhausen non fosse qualcosa di qualitativamente diverso, ma solo quantitativamente diverso dal mondo sonoro tradizionale. La generazione successiva, invece, non sa comporre con la penna, come i giovani che usano la calcolatrice e non sanno quale percorso logico si debba compiere per fare una moltiplicazione: in un caso il mezzo non viene conosciuto, nell'altro non viene conosciuto il contenuto. Unificare queste due cose è un compito storico, altrimenti può darsi che la musica del prossimo futuro sia dominata da macchine più o meno intelligenti a cui il compositore affiderà i propri algoritmi, oppure sia al contrario una musica tardoromantica che esiste soltanto *contro* la tecnologia.
Un'altra grossa acquisizione fatta dalla musica attraverso l'uso dei computer è stata, parallelamente ai primi esperimenti sull'Intelligenza Artificiale, la ricerca sulla percezione. L'iniziale procedere sperimentale è stato soppiantato da raffinate ricerche, condotte non più sull'evento sonoro ma sulle strutture percettive, in un certo senso passate a considerare non l'oggetto ma il soggetto. Le teorie cognitiviste su cui da tempo lavorano diversi centri di ricerca musicale informatica, gli studi fatti dai musicisti francesi sulla struttura dello spettro armonico e sulla sua percepibilità hanno dato degli esiti forse non ancora operativamente compiuti ma senz'altro molto interessanti e molto distanti dall'indifferenza esibita da uno Xenakis rispetto alla effettiva capacità per l'ascoltatore a discernere le sue forme musicali.
Sostanzialmente, la composizione musicale con il computer costringe alla formulazione di una teoria. La costituzionale immaterialità della composizione informatica richiede una teoria approfondita, non una teoria astratta e numerica, visionaria o letteraria, ma una teoria che fondi il divenire del suono secondo procedure molto precise, con un fine sonoro ed espressivo altrettanto preciso. Otto Laske — allievo di Adorno oltre (o meglio prima) che ricercatore scientifico sulla sintesi dei suoni presso la Harvard University — enuclea tre motivi principali dell'interesse che ha l'uso del calcolatore in musica: per prima cosa «i computer, [che sono] manipolatori universali di simboli, come strumenti che allargano l'orizzonte della mia fantasia musicale mi costringono a disimparare delle abitudini — abitudini uditive! — e a cercarmene delle nuove, più utili e più convincenti di quelle tradizionali. [...In secondo luogo...] posso progettare e realizzare strutture musicali che non potrei nemmeno sognare se procedessi manualmente, in quanto sono troppo complicate per la mia memoria. [...Infine...] giocare con l'elaboratore ci educa all'uso responsabile della tecnologia esistente.» ([20]). Assicurare che una maggiore percentuale di computer sia usata per l'arte e la musica invece che per l'industria o la difesa può essere importante oltre che per l'arte e la musica anche per la società e la vita in generale. Non a caso una delle citazioni più sfruttate nel discorso sulla musica elettronica, che accoglieva i visitatori ad una bella manifestazione sulla musica elettronica organizzata dalla Biennale di Venezia nel 1986, è un passaggio dalla descrizione della vita musicale nella Nuova Atlantide di Francis Bacon: «Noi dimostriamo i suoni e la loro generazione. Abbiamo armonie che voi non possedete [...] Diversi strumenti musicali a voi sconosciuti [...] Abbiamo la possibilità di consentire all'orecchio di ascoltare più lontano. Abbiamo anche diversi echi artificiali e straordinari che riflettono la voce molte volte e agiscono come se la lanciassero [...] e anche mezzi per portare i suoni attraverso arterie e condutture, lungo linee e a distanze straordinarie. Queste parole sono state scritte nel 1624...

John Cage e David Tudor (in basso) durante l'esecuzione simultanea di *Untitled* di Tudor e *Mesostics* di Cage nel 1972

Note

(1) Si è partiti da una media di 30.000 numeri per un secondo di musica, ed oggi la definizione digitale supera i 60.000.

(2) Presso il Groupe de Recherche Musicale GRM, già Groupe de Recherche de Musique Concrète, di cui era direttore; cfr. Pierre Schaeffer, *Traité des objets musicaux*, Parigi: Seuil, 1966.

(3) Cfr. Abraham Moles, *Théorie de l'information et perception esthétique*, Parigi: Flammarion, 1958.

(4) Jean-Baptiste-Joseph Fourier (1768-1830), considerato il primo matematico e fisico moderno, definì gli importanti strumenti matematici riuniti sotto il nome di *analisi armonica*; diede importanti contributi alla teoria della probabilità. Le formule dette *serie di Fourier* sono strumento negli studi di problemi di acustica, elettronica, meccanica e in generale in ogni dominio in cui i fenomeni abbiano carattere periodico.

(5) Colloquio personale, giugno 1982.

(6) Hermann Weyl, *Das Kontinuum*, Berlino: Walter de Gruyter, 1932; trad. it. *Il continuo*, Napoli: Bibliopolis, 1977, pag. 141. Citato in Angelo Orcalli, *Fenomenologia della musica sperimentale*, Potenza: Sonus Ediz. Musicali, 1993, pag. 239.

(7) Per sintesi additiva si intende la sovrapposizione di diverse onde sinusoidali opportunamente costruite; per sintesi sottrattiva si intende il processo di progressivo filtraggio di una banda, ad esempio a partire dal suono bianco.

(8) Lo Studio di Musica Elettronica della NHK di Tokyo nasce nell'autunno del 1955. Lo studio possedeva molti oscillatori fra cui un Melochord per onde sinusoidali e un Monochord per onde a dente di sega, oltre trenta filtri a banda passante e un vasto equipaggiamento per la registrazione e l'elaborazione; i tecnici giapponesi utilizzavano macchine americane di alta precisione (Ampex) per la manipolazione manuale ad alta definizione, ad esempio sulla velocità.

(9) L'insostituibile Marino Zuccheri, il tecnico dello Studio di Milano con cui hanno lavorato Luciano Berio, Luigi Nono, John Cage, Henri Pousseur ecc., era solito presentare lo studio dicendo: «Abbiamo nove oscillatori».

(10) I Bell Telephone Laboratories, l'Electronic Music Studio dell'Università dell'Illinois, l'Experimental Music Studio del Massachussetts Istitute of Technology, il CCRMA dell'Università di Stanford dove John Chowning metterà a punto un procedimento basato sulla modulazione di frequenza, ecc.

(11) È nota la lungimiranza di Edgar Varèse riguardo alla ricerca di nuove sonorità prodotte da nuovi strumenti; cfr. Edgar Varèse, *Écrits*, a cura di L. Hirbour, Parigi: Bourgois 1983; trad. it. di U. Fiori, Milano: Unicopli, 1985, pag. 129 segg.

(12) All'inizio degli anni Cinquanta a New York Cage promosse insieme a Tudor il gruppo "Music for magnetic tape" di cui fecero parte Earle Brown (*Octet I*), Morton Feldman (*Intersection*) e Christian Wolff (*For magnetic tape*); egli stesso compose *Imaginary Landscape n. 5*. Essi usarono probabilmente per primi la semplice tecnica del montaggio del nastro, usando anelli di nastro ecc.

(13) Il titolo dell'VIII Colloquio di Informatica Musicale, promosso dall'Associazione Informatica Musicale Italiana, era precisamente *Manualità...informatica: quale pensiero musicale?* (Cagliari, Festival Spaziomusica, 26 ottobre-27 novembre 1989).

(14) I primissimi concerti furono nel 1906, in una sala costruita appositamente a New York per il gigantesco Telharmonium, che permetteva intervalli microtonali e composizione di armonici; gli strumenti futuristi, il russo Theremin (1920) — con un oscillatore sinusoidale ed un amplificatore controllati dal moto delle mani fra le due antenne —, gli strumenti di Mager della seconda metà degli anni Venti e poi le Onde Martenot (1928), il Trautonium (1928), sino all'organo Hammond del 1935 sono tutti strumenti che necessitano di un interprete.

(15) Titolo di un famoso libro di Fred K. Prieberg, pubblicato nel 1960 in Germania da Ullstein e tradotto tre anni dopo da Paola Tonini, per Einaudi.

(16) Difficile risalire allo studio in cui fu prodotto il nastro; molto probabilmente presso uno studio in Germania.

(17) «Stranamente quello che avviene adesso tecnologicamente guarda indietro, cioè cerca — ed è un fatto spontaneo — di arrivare con questi nuovi mezzi a cose che si facevano allora [negli anni Cinquanta e Sessanta] faticosamente, manualmente, empiricamente...»; colloquio personale 23 ottobre 1992.

(18) Cfr. la contraddizione riferita da Peppino di Giugno, in Franco Fabbri, *Elettronica e Musica*, Milano: Fabbri, 1984; pag. 147. Cfr. anche pag. 148.

(19) Hugh Davies, "Storia ed evoluzione degli strumenti musicali elettronici", in *Nuova Atlantide*, Venezia: La Biennale di Venezia, Settore Musica, 1986, pagg. 17-59; pag. 37.

(20) Otto Laske, "Computermusik und musikalische Informatik", in *Neuland Jahrbuch*, 2, a cura di H. Henck, Colonia 1982. Trad. it. "Informatica musicale", in *Numero e Suono*, catalogo edito da La Biennale di Venezia per l'International Computer Music Conference, tenutasi per la prima volta in Europa nel 1982, pagg. 45-48; pag. 47.

Le foto che illustrano questo articolo sono state tratte dal volume *Nuova Atlantide*, Biennale di Venezia 1986